UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

Tese

Comportamento da Migração de Íons Cloreto do Substrato para Argamassa de Saneamento, Desenvolvida para Recuperação de Prédios Históricos

Leandro Gularte Blois

Pelotas, 2023

Leandro Gularte Blois

Comportamento da Migração de Íons Cloreto do Substrato para Argamassa de Saneamento, Desenvolvida para Recuperação de Prédios Históricos

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Beltrame

Co-Orientador: Prof. Dr. Jorge Nunes

Pelotas, 2023

Leandro Gularte Blois

Comportamento da Migração de Íons Cloreto do Substrato para Argamassa de Saneamento, Desenvolvida para Recuperação de Prédios Históricos

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 21/09/2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rafael Beltrame (Orientador)
Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Jorge Nunes (Co-Orientador)
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Neftalí Lenin Villarreal Carreño
Doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Hebert Luís Rossetto
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo

Profa. Dra. Alessandra Buss Tessaro
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Jorge Luiz Saes Bandeira
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Ao meu querido irmão Luciano Gularte Blois e aos meus queridos avós Maria Ferreira Bongalhardo e Sérgio Leal Gomes (In Memoriam)!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e aos Orixás, pois sem eles nada seria possível.

A Fundação Universidade Federal de Pelotas – UFPEL por proporcionar o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

A Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG por disponibilizar o Laboratório de Geotecnia e Concreto para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Professor Orientador Dr. Rafael Beltrame pela boa vontade, desde o início, dedicação, compreensão, preocupação durante os anos e pela orientação para realização dessa tese.

Ao Professor Co-Orientador Dr. Jorge Nunes, da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, pelo apoio, orientação, disponibilidade de tempo e disponibilidade do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG.

Ao Professor Dr. André Guimarães, meu orientador no Mestrado, da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, que foi o incentivador e criador da base dessa tese.

Ao Professor Dr. Jorge Bandeira da Universidade Federal do Rio Grande – FURG por participar, auxiliar e ajudar na elaboração dessa tese.

Aos Técnicos de Laboratório Júlio e Régis pelo apoio e ajuda durante os anos de pesquisa.

As secretarias do Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG, Rubi e Lu, pelo apoio prestado sempre em função das salas do laboratório e armários.

Ao meu pai, por toda a dedicação e carinho dados a mim durante todos esses anos de estudo, trabalhando e batalhando de sol a sol para que seus filhos crescessem na vida.

A minha mãe, pelo amor, carinho, dedicação e pelo apoio durante os anos de estudos e principalmente por sempre acreditar na minha capacidade.

As minhas irmãs Jessica Gularte Blois e Larissa Gularte Blois que estão sempre ao meu lado prontas para me ajudar.

Ao meu avô Sérgio Leal Gomes por me proporcionar momentos de descontração, e que no andamento dessa pesquisa veio a nos deixar.

Um agradecimento especial a minha namorada Juliana Marques Felix que sempre esteve ao meu lado me incentivando a ir sempre além.

A minha sogra Carla Rejane da Costa Marquês pelo incentivo e apoio sempre.

Aos meus cachorros Julie *(In memoriam*), Messi (*In memoriam*), Jobs e Preta, por muitas vezes participarem da elaboração desta tese, mesmo que dormindo ao meu lado e por me ajudarem nos momentos de relaxamento.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa, **meus mais sinceros agradecimentos**.

“A ciência pode nos divertir e fascinar, mas é a engenharia que muda o mundo (Isaac Asimove).”

“Quando faltar sorte faça sobrar determinação, o azar morre de medo de pessoas determinadas (autor desconhecido).”

BLOIS, Leandro Gularte. **Comportamento da Migração de Íons Cloreto do Substrato para Argamassa de Saneamento, Desenvolvida para Recuperação de Prédios Históricos.** 200 páginas. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

RESUMO

A deterioração dos materiais de construção civil, em ambientes agressivos, como é o caso do extremo sul do país é intensa por causa da região costeira e portuária somada as operações industriais, fortes ventos e um ambiente severamente marítimo. Os sais solúveis e a umidade são os principais causadores das degradações em estruturas de alvenaria nesse tipo de ambiente. A argamassa de saneamento, não comumente utilizada no Brasil, porém bastante difundida na Alemanha é um material que vem apresentando resultados pertinentes e satisfatórios a construção civil. Esse material, altamente poroso, permite a migração da contaminação salina da alvenaria para a argamassa de saneamento e sua consequente cristalização sem danificar o revestimento. No Brasil, ainda é precário a determinação de técnicas capazes de lidar com a migração e a cristalização de sais solúveis em revestimentos argamassados em alvenaria e estruturas. Em Rio Grande, no Estado do Rio Grande do Sul, é comum a existência de deterioração em revestimentos de argamassa e o surgimento de outras manifestações patológicas decorrentes das características do ambiente em relação à salinidade e umidade. Por isso, buscou-se aplicar uma argamassa de saneamento, utilizada para recuperação de prédios históricos na cidade de Rio Grande, em alvenaria convencional completamente saturada de sais solúveis e observar o comportamento dos íons cloreto ao longo da profundidade de penetração da microestrutura dos revestimentos em três, cinco e sete centímetros de espessura. Desse modo, analisar se o revestimento de argamassa de saneamento, em diferentes espessuras, utilizado nos substratos de alvenaria convencionais, altamente contaminado, com esses íons possui comportamento de reboco final de recuperação. A metodologia de contaminação, cura, revestimento dos substratos, extração de amostras, tratamento das amostras e análise da migração dos íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento seguiu as poucas referências bibliográficas existentes no Brasil e as recomendações do Caderno Alemão WTA. Os resultados obtidos mostraram as principais características da argamassa de saneamento em relação ao seu estado fresco e endurecido e diversos perfis de comportamento da migração de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento em suas diferentes espessuras de revestimentos. Concluiu-se que a argamassa de saneamento precisa de certos cuidados em sua utilização devido a baixa resistência à tração na flexão e à compressão. Entretanto, apresentou ótimos resultados quanto a aplicação em ambientes de atmosfera marinha para as espessuras de três e cinco centímetros cumprindo seu papel de retenção de íons cloreto evitando a deterioração por umidade e sais. Inicialmente, os revestimentos com sete centímetros de espessura não apresentaram bom comportamento, não sendo indicados para rebocos de recuperação. O bom desempenho do revestimento vai depender da espessura e da sua capacidade de reter os sais solúveis em ambientes litorâneos, costeiros e portuários.

Palavras-chave: Argamassa de saneamento; Substratos de alvenaria; Retenção de íons cloreto.

BLOIS, Leandro Gularte. **Migration Behavior of Chloride Ions from the Substrate to Sanitation Mortar, Developed for the Renovation of Historic Buildings.** 200 páginas. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

ABSTRACT

The deterioration of civil construction materials, in aggressive environments, as is the case in the extreme south of the country, is intense due to the coastal and port region, in addition to industrial operations, strong winds and a severely maritime environment. Soluble salts and moisture are the main causes of degradation in masonry structures in this type of environment. Sanitation mortar, not commonly used in Brazil, but quite widespread in Germany, is a material that has been showing relevant and satisfactory results in civil construction. This highly porous material allows the migration of saline contamination from the masonry to the sanitation mortar and its consequent crystallization without damaging the coating. In Brazil, it is still precarious to determine techniques capable of dealing with the migration and crystallization of soluble salts in mortar coatings in masonry and structures. In Rio Grande, in the state of Rio Grande do Sul, deterioration of mortar coatings and the emergence of other pathological manifestations resulting from the characteristics of the environment in relation to salinity and humidity is common. Therefore, an attempt was made to apply a sanitation mortar, used for the recovery of historic buildings in the city of Rio Grande, to conventional masonry completely saturated with soluble salts and to observe the behavior of chloride ions along the depth of penetration of the microstructure of the coatings in three, five and seven centimeters thick. Thus, to analyze whether the sanitation mortar coating, in different thicknesses, used on conventional masonry substrates, highly contaminated with these ions, has the behavior of final recovery plaster. The methodology for contamination, curing, substrate coating, sample extraction, sample treatment and analysis of the migration of chloride ions from the substrate to the sanitation mortar followed the few existing bibliographic references in Brazil and the recommendations of the German WTA. The obtained results showed the main characteristics of the sanitation mortar in relation to its fresh and hardened state and several behavioral profiles of the migration of chloride ions from the substrate to the sanitation mortar in its different coating thicknesses. It was concluded that the sanitation mortar needs certain care in its use due to its low tensile strength in flexion and compression. However, it showed excellent results in terms of application in environments with a marine atmosphere for thicknesses of three and five centimeters, fulfilling its role in retaining chloride ions, preventing deterioration due to moisture and salts. Initially, the seven-centimeter-thick coatings did not perform well, not being indicated for recovery renders. The good performance of the coating will depend on the thickness and its ability to retain soluble salts in coastal, coastal and port environments.

Keywords: Sanitation mortar; Masonry substrates; Retention of chloride ions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Condições de aplicação da argamassa.....34
Figura 2.2 – Consistência da argamassa.....39
Figura 2.3 – Evolução das tensões de tração.....49
Figura 2.4 – Deterioração em revestimentos argamassados.....54
Figura 2.5 – O fenômeno da eflorescência em parede de alvenaria.....55
Figura 2.6 – Íons cloreto nos poros do concreto.....61
Figura 3.1 – Fluxograma da parte experimental da pesquisa.....78
Figura 3.2 – Nomenclatura dos substratos de tijolo maciço.....79
Figura 3.3 – Disposição dos substratos no interior das caixas.....81
Figura 3.4 – Fileiras de substratos nas caixas organizadoras de ataque.....82
Figura 3.5 – Cloreto, nitrato e sulfato de sódio (solução salina de ataque).....82
Figura 3.6 – Moagem dos cristais de sais.....83
Figura 3.7 – Secagem ao ar livre das amostras contaminadas.....85
Figura 3.8 – Agregados - Areia e calcário dolomítico.....86
Figura 3.9 – Aglomerantes – Cimento, cinza de carvão mineral e cal.....86
Figura 3.10 – Aditivo incorporador de ar.. 87
Figura 3.11 – Estufa de secagem do agregado miúdo.....88
Figura 3.12 – Massa específica do composto aglomerante cinza-cal.....91
Figura 3.13 – Massa específica da cal.....91
Figura 3.14 – Massa específica do Cimento Portland.....92
Figura 3.15 – Massa específica do agregado miúdo......93
Figura 3.16 – Massa específica do calcário.....94
Figura 3.17 – Realização do ensaio de determinação do índice de consistência.. ...95
Figura 3.18 – Determinação do volume do recipiente para a densidade de massa..96
Figura 3.19 – Determinação da densidade de massa.....97
Figura 3.20 – Determinação da resistência à tração na flexão.....99

Figura 3.21 – Determinação da resistência à compressão axial 100

Figura 3.22 – Determinação da absorção de água por capilaridade 101

Figura 3.23 – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.... 103

Figura 3.24 – Dimensões do substrato e dos revestimentos de argamassa de saneamento..... 106

Figura 3.25 – Argamasseira 107

Figura 3.26 – Sequência de preparação da argamassa de saneamento na argamasseira..... 107

Figura 3.27 – Molde para o revestimento dos substratos..... 108

Figura 3.28 – Preenchimento do molde para revestimento dos substratos..... 108

Figura 3.29 – Revestimento dos substratos 109

Figura 3.30 – Revestimento de argamassa de saneamento com 3 cm de espessura..... 110

Figura 3.31 – Revestimento de argamassa de saneamento com 5 cm de espessura..... 110

Figura 3.32 – Revestimento de argamassa de saneamento com 7 cm de espessura..... 111

Figura 3.33 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 3 cm 112

Figura 3.34 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 5 cm 112

Figura 3.35 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 7 cm 112

Figura 3.36 – Fixação do substrato revestido no equipamento de extração 113

Figura 3.37 – Extração, controle de profundidade e coleta das amostras pulverizadas..... 114

Figura 3.38 – Secagem do material por 24 horas a uma temperatura de 100°C (+/- 5°)..... 115

Figura 3.39 – Dessecador com sílica em gel..... 116

Figura 3.40 – Pesagem e adição de solução de HNO_3 117

Figura 3.41 – Vidro de relógio com água deionizada 117

Figura 3.42 – O processo de ebulição com agitação constante 118

Figura 3.43 – Resfriamento acelerado do composto 118

Figura 3.44 – Secagem do vidro de relógio e limpeza das paredes do recipiente ..119

Figura 3.45 – Adição de NaOH 2M 119

Figura 3.46 – Controle de pH da solução resultante do composto.....120

Figura 3.47 – Adição de 1 ml de solução de cloreto de sódio NaCl a 0,01 M 121

Figura 3.48 – Curva da titulação potenciométrica potencial medido versus o volume de titulante.....122

Figura 3.49 – Ponto de inflexão pelo cálculo da primeira derivada 123

Figura 3.50 – Ponto de inflexão pelo cálculo da segunda derivada 124

Figura 4.1 – Perfil de íons cloreto no substrato T0, sem revestimento e não contaminado com solução salina 135

Figura 4.2 – Perfil de íons cloreto no substrato T1, sem revestimento e contaminado com solução salina.....136

Figura 4.3 – Perfil de íons cloreto no substrato T2, revestimento de 3 cm.....137

Figura 4.4 – Perfil de íons cloreto no substrato T3, revestimento de 3 cm.....137

Figura 4.5 – Perfil de íons cloreto no substrato T4, revestimento de 3 cm.....138

Figura 4.6 – Perfil de íons cloreto no substrato T5, revestimento de 3 cm.....139

Figura 4.7 – Perfil de íons cloreto no substrato T6, revestimento de 3 cm.....140

Figura 4.8 – Perfil de íons cloreto no substrato T11, revestimento de 3 cm.....141

Figura 4.9 – Perfil de íons cloreto no substrato T12, revestimento de 3 cm.....142

Figura 4.10 – Perfil de íons cloreto no substrato T14, revestimento de 3 cm.....142

Figura 4.11 – Perfil de íons cloreto no substrato T15, revestimento de 3 cm.....143

Figura 4.12 – Perfil de íons cloreto no substrato T16, revestimento de 3 cm.....144

Figura 4.13 – Perfil de íons cloreto no substrato T17, revestimento de 3 cm.....145

Figura 4.14 – Perfil de íons cloreto no substrato T18, revestimento de 3 cm.....145

Figura 4.15 – Perfil de íons cloreto no substrato T19, revestimento de 3 cm.....146

Figura 4.16 – Perfil de íons cloreto no substrato T7, revestimento de 5 cm.....148

Figura 4.17 – Perfil de íons cloreto no substrato T8, revestimento de 5 cm.....149

Figura 4.18 – Perfil de íons cloreto no substrato T9, revestimento de 5 cm.....150

Figura 4.19 – Perfil de íons cloreto no substrato T10, revestimento de 5 cm.....151

Figura 4.20 – Perfil de íons cloreto no substrato T13, revestimento de 5 cm.....152
Figura 4.21 – Perfil de íons cloreto no substrato T20, revestimento de 5 cm.....152
Figura 4.22 – Perfil de íons cloreto no substrato T21, revestimento de 5 cm.....153
Figura 4.23 – Perfil de íons cloreto no substrato T23, revestimento de 5 cm.....154
Figura 4.24 – Perfil de íons cloreto no substrato T24, revestimento de 5 cm.....154
Figura 4.25 – Perfil de íons cloreto no substrato T25, revestimento de 5 cm.....155
Figura 4.26 – Perfil de íons cloreto no substrato T38, revestimento de 5 cm.....156
Figura 4.27 – Perfil de íons cloreto no substrato T39, revestimento de 5 cm.....156
Figura 4.28 – Perfil de íons cloreto no substrato T26, revestimento de 7 cm.....158
Figura 4.29 – Perfil de íons cloreto no substrato T27, revestimento de 7 cm.....159
Figura 4.30 – Perfil de íons cloreto no substrato T28, revestimento de 7 cm.....160
Figura 4.31 – Perfil de íons cloreto no substrato T29, revestimento de 7 cm.....160
Figura 4.32 – Perfil de íons cloreto no substrato T30, revestimento de 7 cm.....161
Figura 4.33 – Perfil de íons cloreto no substrato T31, revestimento de 7 cm.....162
Figura 4.34 – Perfil de íons cloreto no substrato T32, revestimento de 7 cm.....162
Figura 4.35 – Perfil de íons cloreto no substrato T33, revestimento de 7 cm.....163
Figura 4.36 – Perfil de íons cloreto no substrato T34, revestimento de 7 cm.....164
Figura 4.37 – Perfil de íons cloreto no substrato T35, revestimento de 7 cm.....165
Figura 4.38 – Perfil de íons cloreto no substrato T36, revestimento de 7 cm.....165
Figura 4.39 – Perfil de íons cloreto no substrato T37, revestimento de 7 cm.....166
Figura 4.40 – Perfil de íons cloreto no substrato T40, revestimento de 7 cm.....167

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Funcionalidade versus classificação da argamassa 36

Quadro 2.2 – Classificações das argamassas segundo suas funções 37

Quadro 2.3 – Classificação quanto à plasticidade da argamassa 39

Quadro 2.4 – Classificação das argamassas em função da retenção de água 41

Quadro 2.5 – Métodos para determinar a retenção de água na argamassa 42

Quadro 2.6 – Classificação das argamassas quanto à massa específica 43

Quadro 2.7 – Limites estabelecidos para resistência de aderência à tração 47

Quadro 2.8 – Classificação quanto à resistência de aderência à tração 47

Quadro 2.9 – Exigências mecânicas e reológicas das argamassas 51

Quadro 2.10 – Manifestações patológicas em revestimentos 57

Quadro 2.11 – Principais sais e sua solubilidade em água 60

Quadro 2.12 – Dimensões de partículas dos aglomerados das argamassas de saneamento 64

Quadro 3.1 – Pesagem dos substratos no estado seco e saturado 80

Quadro 3.2 – Contaminação, período de imersão em solução e secagem 84

Quadro 3.3 – O traço da argamassa de saneamento e o consumo de materiais 88

Quadro 3.4 – Composição do agregado miúdo (areia quartzosa) 89

Quadro 3.5 – Composição do agregado miúdo (areia calcária) 89

Quadro 3.6 – Resumo de cálculo do volume de material para os revestimentos 106

Quadro 3.7 – Camadas de extração em função da quantidade de material 116

Quadro 4.1 - Caracterização quanto à massa específica 127

Quadro 4.2 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco 128

Quadro 4.3 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto às resistências 130

Quadro 4.4 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto à absorção de água por capilaridade 131

Quadro 4.5 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto à absorção de água e índice de vazios 132

Quadro 4.6 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto às massas específicas 133

Quadro 4.7 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 3 cm 147

Quadro 4.8 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 5 cm 157

Quadro 4.9 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 7 cm 168

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 – Determinação da massa específica da areia 93
Equação 3.2 – Determinação da massa específica do calcário 94
Equação 3.3 – Determinação da densidade de massa 97
Equação 3.4 – Densidade de massa teórica para o teor de ar incorporado 98
Equação 3.5 – Teor de ar incorporado (%) 98
Equação 3.6 – Resistência à tração na flexão 100
Equação 3.7 – Resistência a compressão axial 101
Equação 3.8 – Absorção de água por capilaridade 102
Equação 3.9 – Coeficiente de absorção de água por capilaridade 102
Equação 3.10 – Determinação da absorção de água 103
Equação 3.11 – Determinação do índice de vazios 104
Equação 3.12 – Determinação da massa específica da amostra seca 104
Equação 3.13 – Determinação da massa específica da amostra saturada 104
Equação 3.14 – Determinação da massa específica real 105
Equação 3.15 – O volume de cloretos totais 124
Equação 3.16 – Teor de cloretos presentes na amostra 125

LISTA DE ABREVIATURAS

mm – milímetros

cm - centímetros

g/cm³ - grama por centímetro cúbico

MPa – Mega Pascal

g - gramas

Vi – volume inicial

Vf – volume final

s - segundos

Kg - quilogramas

mg - miligrama

ml - mililitros

mV - milivolts

SUMÁRIO

RESUMO.....09

ABSTRACT.....10

LISTA DE FIGURAS.....11

LISTA DE QUADROS.....15

LISTA DE EQUAÇÕES.....17

LISTA DE ABREVIATURAS.....18

1. INTRODUÇÃO.....23

1.1 OBJETIVOS.....25

1.1.1 Objetivo geral.....25

1.1.2 Objetivos específicos.....26

1.2 ESTRUTURA DA TESE.....26

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....27

2.1 BREVE HISTÓRICO DAS ARGAMASSAS E SUAS APLICAÇÕES.....27

2.2 OS REVESTIMENTOS PARA APLICAÇÃO EM PRÉDIOS HISTÓRICOS.....30

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS.....33

2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....37

2.4.1 Trabalhabilidade.....37

2.4.2 Consistência e Plasticidade.....38

2.4.3 Retenção de água.....40

2.4.4 Massa específica e teor de ar incorporado.....42

2.4.5 Adesão inicial.....44

2.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....45

2.5.1 Retração.....45

2.5.2 Resistência de aderência à tração.....46

2.5.3 Capacidade de absorver deformações.....47

2.5.4 Resistência à tração na Flexão e à compressão 49
2.5.5 Resistência ao ataque por sais solúveis 51
2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS 52
2.6.1 Eflorescência 54
2.6.2 Deterioração por umidade e sais 56
2.6.2.1 Umidade 58
2.6.2.2 Sais solúveis 59
2.7 ÍONS CLORETO 61
2.8 ARGAMASSAS DE SANEAMENTO 63
2.8.1 Propriedades das argamassas de saneamento estrangeiras 66
2.8.1.1 Trabalhabilidade e consistência 67
2.8.1.2 A plasticidade 68
2.8.1.3 Retenção de água 68
2.8.1.4 Teor de ar incorporado 69
2.8.1.5 Massa específica 69
2.8.1.6 Resistência mecânica 69
2.8.1.7 Difusão de vapor 70
2.8.1.8 Resistência à passagem dos sais 70
2.8.2 O desenvolvimento de pesquisas com argamassas de saneamento 71
3. MATERIAIS E MÉTODOS 76
3.1 MATERIAIS E O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 79
3.1.1 Os materiais adquiridos 79
3.1.2 O preparo para contaminação em solução salina 79
3.1.3 Contaminação, período de imersão em solução e secagem 83
3.1.4 Materiais constituintes da argamassa de saneamento 85
3.2 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO 87
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS 90

3.3.1 Caracterização dos materiais aglomerantes 90
3.3.1.1 Massa específica do composto aglomerante cinza-cal 90
3.3.1.2 Massa específica da cal 91
3.3.1.3 Massa específica do Cimento Portland 92
3.3.2 Caracterização dos materiais agregados 92
3.3.2.1 Massa específica do agregado miúdo 92
3.3.2.2 Massa específica do calcário 93
3.3.3 Caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco.....94
3.3.3.1 Determinação do índice de consistência 94
3.3.3.2 Determinação da densidade de massa 96
3.3.3.3 Determinação do teor de ar incorporado 97
3.3.4 Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido.....98
3.3.4.1 Resistência à tração na flexão 99
3.3.4.2 Resistência à compressão axial 100
3.3.4.3 Absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade.....101
3.3.4.4 Absorção de água 102
3.3.4.5 Índice de vazios.....103
3.3.4.6 Massa específica da amostra seca 104
3.3.4.7 Massa específica da amostra saturada.....104
3.3.4.8 Massa específica real.....104
3.4 REVESTIMENTO DOS SUBSTRATOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO... 105
3.5 A EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO 111
3.6 O TRATAMENTO DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS 114
3.7 A APLICAÇÃO DA POTENCIOMETRIA 121
3.7.1 Ponto de equivalência: método da primeira e segunda derivada 122
3.7.2 Determinação do percentual de cloretos em relação a massa de revestimento, substrato-revestimento e substrato..... 124

3.7.3 O traçado dos perfis de íons cloreto.....125

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....126

4.1 CARACTERISTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO.. 126

4.2 CARACTERISTICAS DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO NO ESTADO FRESCO.. 128

4.3 CARACTERISTICAS DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO NO ESTADO ENDURECIDO.. 129

4.4 OBTENÇÃO DOS PERFIS DE PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO.. 134

4.4.1 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 3 cm.. 136

4.4.2 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 5 cm.. 148

4.4.3 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 7 cm.. 158

5. CONCLUSÕES.....172

5.1 Conclusões.....172

5.2 Sugestões de trabalhos futuros.....173

REFERÊNCIAS.....174

APÊNDICE.....184

1. INTRODUÇÃO

As construções e as edificações estão expostas diariamente as condições ocasionadas pelo ambiente, sendo constantemente agredidas e induzidas à deterioração de seus constituintes. Os compostos químicos, físicos e biológicos interagem entre si e com os materiais empregados causando deteriorações indesejadas nas construções e edificações. Contudo, os principais influenciadores dessas manifestações patológicas são os sais solúveis e a umidade (GEWEHR, 2004).

Muitas edificações são construídas em alvenarias, sendo a umidade o principal agente de deterioração dos seus materiais constituintes, como a alvenaria e o revestimento. Os materiais de construção apresentam em sua constituição sais solúveis, da mesma forma estes mesmos sais podem ocorrer na água do lençol freático e, eventualmente na própria água de amassamento da argamassa que formam um processo de cristalização e dissolução exercendo pressões internas que resultam na desagregação do material. Esses materiais são higroscópicos e tendem a incorporar quantidades excessivas de água aumentando a umidade presente tanto no revestimento de argamassa quanto nos substratos de alvenaria (HUGHES, 2012).

Nos revestimentos, as argamassas são consideradas materiais construtivos usados há muitos anos na construção civil. Seu principal objetivo sempre foi o assentamento e o revestimento. Segundo Sousa (2010) as argamassas começaram a ser estudadas e referenciadas há cerca de 10 mil anos. Salienta ainda que a argamassa era constituída à base de cal e cozida posteriormente em fornos rudimentares cujos materiais eram a cal aérea, o gesso, as pozolanas, a cal hidráulica, os ligantes hidráulicos, chegando à utilização do cimento Portland.

Conforme Mattos (2018) uma argamassa que sobreviveu por inúmeros anos envelhece e traz mudanças em sua microestrutura, acarretando variações de natureza química e física ao longo do tempo, determinando desta forma, modificações de acordo com as propriedades dos materiais e a natureza, intensidade e frequência dos agentes de degradação.

Por isso, o revestimento deve ter uma função específica para cada tipo de obra. A dosagem de uma argamassa para reparo de alvenaria depende de uma compreensão clara de sua função. O requisito que cada tipo de argamassa deve atender, em serviço, depende de sua exposição ambiental e sua função nos substratos de alvenaria (HUGHES, 2012).

Existem técnicas para minimizar ou eliminar a presença de umidade e a geração de manifestações patológicas, como remoção, neutralização, rebocos de sacrifício, sistema eletro-físico, argamassas de saneamento e combate químico. As técnicas ou materiais utilizados para recuperação devem ser compatíveis com o original, sendo que antigamente, usava-se gema de ovo e até sangue como substâncias ligantes ou adesivas. Entretanto, havia repulsa pelo material original não sendo eficiente para a durabilidade dos revestimentos (GEWEHR, 2004).

A argamassa de saneamento, conceito de técnica de recuperação um pouco mais recente, tem por finalidade sanar, eliminar ou retardar possíveis manifestações patológicas que venham a surgir por diversos fatores, mas principalmente pelo ambiente de inserção da obra ou edificação. A composição, a dosagem dos materiais envolvidos, o processo de produção, maior porosidade e a cura são essenciais para uma boa estabilidade e diminuição da intensificação de ataque por cloretos e umidade (SOUSA, 2010).

Os revestimentos argamassados externos, quando sujeitos ao ambiente muito agressivo, são os primeiros a mostrar os sinais de degradação, afetando a estética e a função protetora da edificação (NUNES, 2022). Por isso, conhecer o comportamento da argamassa frente a esses ataques serve de base para que as intervenções de conservação e restauro dos revestimentos, tanto de prédios antigos como de novas construções, sejam feitas de modo adequado e se torne um bom objeto de estudo.

A cidade de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul, considerada a mais antiga do estado, possui diversas edificações tanto antigas como mais recentes, no qual grande parte está situada em zona de atmosfera marinha. Com base nisso, convém mencionar que essas regiões estão sujeitas à ação de névoa salina, que se forma pelo impacto das ondas entre si ou contra a costa, cujo efeito hidrodinâmico forma o aerossol marinho que contém grandes quantidades de íons cloreto e sulfato, sendo um agente muito agressivo aos revestimentos argamassados (MEIRA, 2004).

Diante das considerações ressaltadas desenvolveu-se uma pesquisa voltada para analisar o processo de deterioração dos revestimentos pela presença de cloretos e umidade derivada dos ambientes litorâneos, costeiros e portuários. Utilizou-se uma argamassa de saneamento desenvolvida especificamente para recuperação de prédios históricos deteriorados na cidade de Rio Grande (o prédio da Catedral de São Pedro). Para atingir o objetivo, será analisado o comportamento da argamassa de saneamento

frente ao ataque de íons cloreto em substrato altamente contaminado para aplicação em obras convencionais da região.

Quanto à originalidade do trabalho, salienta-se que esta se encontra pautada na inexistência de estudos para avaliar o desempenho da argamassa de saneamento brasileira utilizada na reconstituição do revestimento da Catedral. Desse modo, o trabalho vem a contribuir para a bibliografia e obtenção do comportamento, mais rápido, com substrato contaminado e mais agressivo, juntamente com Nunes (2022). A não divulgação dos resultados obtidos nessa tese e na possibilidade de obtenção de um novo comportamento de migração de íons cloreto para a argamassa de saneamento devido as diferentes espessuras de revestimentos que podem ser utilizadas em obras de restauro localizadas em zonas de atmosfera marinha e ambiente marítimo.

A hipótese formulada para o desenvolvimento do trabalho foi de analisar o comportamento da argamassa de saneamento, desenvolvida com a finalidade de recuperação de prédios históricos, com deteriorações de longos anos. E, assim verificar sua viabilidade de desenvolvimento e aplicação em obras mais recentes, com pouca deterioração, localizadas em regiões de alta incidência de sais solúveis e umidade como é o caso de cidades com ambientes extremamente marítimos.

Diante disto, o estudo apresenta extrema relevância para constatação e avaliação da aplicação de argamassas de saneamento em ambientes onde o índice de agressividade se intensifica com o passar do tempo, levando em consideração que a bibliografia sobre as argamassas de saneamento para esses tipos de ataques ainda é precária. Com isso, o trabalho contribuíra para o avanço tecnológico do conhecimento acerca dos materiais que englobam a construção civil, e que devam ser utilizados para retardar ou eliminar manifestações patológicas causadas por umidade e sais solúveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho do comportamento da argamassa de saneamento, desenvolvida com traço específico para aplicação no revestimento externo da Catedral de São Pedro, na cidade de Rio Grande, através de substratos altamente

contaminados com cloretos, sulfatos e nitratos de sódio, em diferentes espessuras de revestimentos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender o proposto no objetivo geral fez-se necessário o desenvolvimento das seguintes etapas:

- Caracterizar a argamassa de saneamento em seu estado fresco e endurecido;
- Determinar o teor de cloretos nos revestimentos de argamassa de saneamento com espessuras de 3, 5 e 7 centímetros;
- Analisar o comportamento dos perfis de penetração de cloretos nas amostras extraídas do substrato, da interface substrato-argamassa e da argamassa de saneamento.

1.2 ESTRUTURA DA TESE

A tese foi estruturada em cinco capítulos conforme as seguintes descrições abaixo:

No primeiro capítulo é mostrado uma breve introdução sobre o tema e sua importância, além de abordar os conceitos iniciais como os objetivos e a estrutura da tese.

No segundo capítulo é apresentado uma revisão bibliográfica sobre o processo de revestimentos de obras de restauro em prédios históricos em função da deterioração por umidade e sais, características das argamassas, no estado fresco e no estado endurecido, manifestações patológicas em revestimentos de argamassas, íons cloreto e a argamassa de saneamento.

O terceiro capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para realização do trabalho descrevendo os principais materiais e métodos utilizados.

No quarto capítulo são analisados os resultados obtidos nos procedimentos experimentais, fazendo as devidas discussões e considerações relevantes à utilização da argamassa de saneamento, assim como suas características, propriedades e aplicações.

E, no quinto capítulo são mostradas às conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BREVE HISTÓRICO DAS ARGAMASSAS E SUAS APLICAÇÕES

Sabe-se que as argamassas eram utilizadas para assentamento de tijolos, blocos e pedras além de revestimentos de paredes e existem há muitos anos. Ao longo do tempo, passou por diversas modificações e ainda há estudos na busca de um material mais tecnológico e durável. Por isso a importância de entender um pouco sobre sua evolução.

De acordo com Moropoulo (2004) o barro foi um dos primeiros materiais usados como ligante na construção civil. Através disso, começou-se uma longa jornada que perdura até os dias de hoje na busca por um material ligante de excelência e que resista às deteriorações pelo local de inserção desse material. No Egito antigo, essa argamassa a base de barro ou lama era utilizada para juntar tijolos cerâmicos. Já para a ligação entre blocos de pedra, o gesso era mais apropriado, pois servia também como agente lubrificante da construção e da ligação entre os blocos.

Há relatos que as primeiras argamassas conhecidas foram descobertas na Galileia, onde hoje é o estado de Israel, com mais de 10.000 anos de existência. Em Jericó (8000 – 7000 a.C.) foi constatada a presença de cal e gesso nas construções e na Turquia, foi utilizado gesso como reboco de parede. Com o passar do tempo, argamassas hidráulicas foram descobertas em cisternas de Jerusalém. As pesquisas arqueológicas mostraram que a maioria das argamassas romanas utilizava apenas a cal aérea como ligante, endurecendo pela ação do anidrido carbono. Salientam ainda que a construção de Roma, da Roma popular, era por isso frágil, não permitindo edifícios de grande porte (ALVAREZ; SEQUEIRA; COSTA, 2005).

Já Margalha (2011) relata que a comunidade grega foi a primeira a utilizar a cal em argamassa de revestimento sendo que era misturada com areia e, mais tarde foi adicionada a pedra de Santorine, que é uma pozolana (composto rico em sílicas), resultando em um ligante hidráulico capaz de endurecer mesmo em baixo d’água. Vale ressaltar que os revestimentos externos nos prédios antigos cumpriram suas funções de regularização e proteção (impermeabilização) das alvenarias e das fachadas por longos anos, contribuindo para a estanqueidade global das paredes externas.

A terra de Santorine foi descoberta pelos gregos e romanos, assim como a argamassa pozolânica no segundo século a.C. Esse período da história se caracterizou

pela utilização de técnicas de adicionar aos materiais pozolânicos a argamassa de cal. Assim, esse método se disseminou por todo o império, a descoberta de um material denominado por eles de nobre que melhorava as propriedades físicas, químicas e mecânicas das argamassas (DAVIDOVITS, 1993).

Por volta de 1700 a.C., de acordo com Torraca (2009), a cal aérea foi utilizada como aglomerante em argamassa aplicada como revestimento de parede, no palácio de Knossos. Logo em seguida há registros do uso de argamassas de cal e gesso pelos egípcios, etruscos, fenícios, gregos, incas e romanos.

O Império Romano utilizava argamassas mais elaboradas, em que era adicionado material pozolânico, implicando na melhoria das características dos rebocos, como endurecimento mais rápido e maior resistência mecânica. As argamassas com pozolanas permitiram construções de obras de maior porte e a introdução das abóbodas e dos arcos abobadados na arquitetura romana, como aquedutos, arcos triunfais, pontes, basílicas, templos e palácios (ALVAREZ; SEQUEIRA; COSTA, 2005; MARGALHA, 2011).

Já no fim do império romano utilizavam-se tijolos esmagados como revestimentos de paredes e o aumento da espessura dos revestimentos de paredes também foram acentuados. A espessura passou de 10 para 15 mm (milímetros) e posteriormente passou a ser utilizada a espessura de 70 mm (DAVIDOVITS, 1993).

Além da cal as argamassas romanas de alta qualidade aplicadas nas construções da época tinham materiais como areia vulcânica (harena fossicia, denominação em latim), pozolanas artificiais obtidas a partir de barro moído (telhas, em latim chamado de testa) e argila caolinítica calcinada (em latim denominado de carbuncules) (ALVAREZ, SEQUEIRA, COSTA, 2005 e SANTIAGO, 2007). Gibbons (1997) explica que esta prática conhecida pelos construtores romanos, que modificavam as características das argamassas de cal pela adição de materiais contendo silicatos e aluminatos reativos, eram obtidos dos depósitos vulcânicos de Pozzuolli perto de Nápoles.

Entretanto, com uma série de problemas financeiros, ao final do Império romano, eles começaram a utilizar uma argamassa de pior qualidade, com reduzida porcentagem de cal e maior quantidade de areia e argila, segundo Alvarez, Sequeira e Costa (2005).

Diversos outros pesquisadores da área mencionam que pelo século VIII o gesso foi introduzido pelos árabes na Europa, trazendo importantes modificações nas

propriedades das argamassas. No século XVII foi descoberta na Alemanha uma grande extensão de turfa 4, que moídas resultavam em um produto semelhante as pozolanas para serem empregadas em argamassas.

Velosa (2006) cita que a composição das argamassas no passado, demandava de materiais de obtenção imediata, como a terra, lama e fibras vegetais. O gesso foi um dos primeiros materiais a ser utilizado como ligante, como também, o uso de argamassas de asfalto já terem ocorrido desde 3000 a.C. Menciona ainda que, o uso da cal, como resultante de processos de calcinação é conhecido desde 4000 a.C., e que existem registros de calcinação e utilização de rebocos e pavimentos com cal desde o período neolítico.

Santiago (2012) considera as argamassas como os nervos e a força das construções. Até o início do século XIX, a cal aérea e as pozolanas naturais eram utilizadas como aglomerantes predominantes na fabricação de argamassas de assentamento, obtendo-se argamassas com características hidráulicas. A partir de 1824, Joseph Aspdin desenvolveu e patenteou o cimento Portland, ligante fabricado através da mistura de cal e argila em forma de pasta calcinada e moída.

Existe um consenso entre autores Veiga (2003), Velosa (2006), Santiago (2007) e Kanan (2008) que, até o século XIX, tanto na fabricação de argamassas portuguesas como brasileiras eram utilizadas pozolanas, além de alguns óleos que conferiam propriedades hidrofugantes.

As argamassas antigas utilizadas como revestimentos de paredes obtinham longevidade por causa do uso da cal. Diversas argamassas de revestimentos resistiram por muitos anos graças à mistura da cal. Já para que as características mecânicas das argamassas de revestimentos fossem melhores, aditivos orgânicos e materiais de origem animal e vegetal eram adicionados (MOTA, 2016).

Mota (2016) acrescenta que a adição de pozolanas naturais e artificiais misturadas às pastas de argamassas para revestimentos era bem conhecida na época, apesar de que as propriedades químicas não. As pozolanas naturais eram de origem vulcânica e quando eram moídas se usava muito para fabricação de calçadas que estavam sujeitas as ações climáticas do tempo e resultavam em constantes processos de deterioração. As pozolanas artificiais eram usadas quando as pozolanas naturais não estavam disponíveis, tais como os tijolos ou retalhos de cerâmicas.

Quanto à trabalhabilidade da pasta e a consistência dessas argamassas a compactação era feita a mão, usando ferramentas manuais e simples. A plasticidade

adequada era observada para obter o controle de fluidez, além de outros cuidados no controle tecnológico que eram observados durante a preparação das argamassas (MOTA, 2016).

Com o passar do tempo, é possível notar que a cal e os materiais pozolânicos são utilizados até os dias de hoje na construção civil. Esses materiais pré-históricos são essenciais para aplicação em obras de infraestruturas, construções e ainda precisam de muitas pesquisas para seu entendimento por completo.

2.2 OS REVESTIMENTOS PARA APLICAÇÃO EM PRÉDIOS HISTÓRICOS

Segundo Lerch (2003), os revestimentos em prédios históricos acabam se degradando ainda mais por características próprias das edificações antigas. Essas características, acabam por contribuir para um maior ou menor grau de degradação. Esses fatores estão relacionados à implantação da construção no terreno, aos materiais utilizados e às técnicas construtivas empregadas na obra.

Normalmente, os revestimentos de paredes de prédios históricos fazem parte de quase todas as intervenções realizadas em edificações, sendo que eles são o rosto da edificação. Os revestimentos de paredes têm uma função protetora, decorativa e estética. Com isso, e para conservação da face exterior do prédio histórico é de suma importância a preservação do contexto do revestimento (AGUIAR, *et al.*, 2001).

De acordo com Veiga (2003), o revestimento externo, considerado a parte visível de uma edificação, seja ela qual for antiga ou recente, é o elemento mais suscetível aos ataques de deterioração. Muitas realizações e intervenções em revestimentos foram elaboradas sem nenhuma base científica e, por isto, muitas técnicas construtivas utilizadas foram perdidas. Nunes (2022) aponta que essa situação de desconhecimento de técnicas construtivas foi vivenciada durante a restauração da Catedral de São Pedro que, por inexistência de registro construtivo, teve a reconstrução de seus revestimentos com a proposta de uma nova argamassa o mais semelhante possível à degradada.

Kanan (2008) e Recena (2014) seguindo as bases científicas de Veiga (2003) chegaram à conclusão de que para o desenvolvimento de um traço de argamassa de restauro de um prédio histórico, este deve ter compatibilidade entre o original e o novo. A compatibilidade abrange diversos requisitos, entre eles estão as texturas e cores, as características, os materiais selecionados, a tecnologia construtiva utilizada – a arte de

executar e aplicar, o bom funcionamento global das paredes gerado pela compatibilidade de materiais e das soluções construtivas empregadas.

A restauração começa com um levantamento e investigação das características históricas, construtivas e decorativas de uma edificação considerada histórica. A investigação histórica, que havia sido estabelecida desde a Carta de Veneza de 1964, é chamada de memória histórica e serve de embasamento ao projeto de restauração. É preciso contextualizar o monumento historicamente através da caracterização do seu período social, político e econômico (TAVARES, 2009).

Para realizar uma intervenção restaurativa em um prédio histórico há a necessidade de levantar uma série de dados sobre o bem cultural como os materiais construtivos utilizados para elaboração do revestimento, as técnicas de construção utilizadas na época, o estado da degradação em função de atividades humanas e ambientais e os produtos pertinentes à intervenção (CALDAROLA; LAVIANO; SCANDALE, 2005).

Recena (2014) explica que as modificações sofridas pelas argamassas de revestimentos ao longo do tempo são acompanhadas de rearranjos químicos e físicos em sua estrutura assim como alterações nas suas propriedades químicas e físicas. Segundo o autor, diversas são as reações envolvidas no processo e com elas a formação de produtos, que se distinguem pela ação benéfica (produtos de reação) ou nociva (produtos de degradação) sobre as características e propriedades da argamassa.

A hidratação do ligante (cal aérea), resultantes do desenvolvimento de reações de caráter pozolânico entre a cal e os minerais reativos dos agregados, ou ainda entre a cal e os materiais pozolânicos adicionados à argamassa, fazem parte dos produtos de reação. Os produtos de degradação são encontrados em argamassas com idades avançadas, nos quais se destacam pela presença dos sais solúveis como cloretos, sulfatos e nitratos (RECENA, 2014).

Rodrigues (2004) aponta que os materiais empregados nas argamassas aplicados em edifícios antigos eram, geralmente, resultantes da mistura de cal aérea com agregados finos e/ou outras cargas, referindo-se a fragmentos de material cerâmico.

Empiricamente, os traços das argamassas de cal utilizadas nos revestimentos antigos eram definidos. Nesse contexto se buscava compacidade, ou seja, que a quantidade de cal adicionada preenchesse por completo os vazios dos grãos de areia.

Assim, o traço dependia da granulometria e da forma dos grãos de areia utilizada e, também, da própria finura da cal (VELOSA, 2006). Na proporção de 1:3 conseguia-se uma argamassa bem eficiente de cal e areia bem graduada e um pouco angulosas enquanto que, para areias mais arredondadas (areias de rio) e com granulometrias muito descontínuas eram utilizados os traços 1:2 ou 1:1,5.

Em geral, os revestimentos das paredes dos prédios antigos apresentavam grande diversidade de constituição e de acabamento, tendo naturalmente, variado ao longo dos séculos, com o tipo de paramento, com a localização das construções e com a sua tipologia. Isso faz com que as técnicas de restauração também sejam variáveis de acordo com o tipo de degradação (LEITE *et al*, 2015).

Os paramentos eram deixados com superfície grosseira, bem rugosa, para facilitar a aderência das argamassas. A composição das argamassas variava com os materiais de suporte, como alvenaria de pedra, alvenaria de tijolo maciço, taipa ou adobe. Algumas pedras não eram consideradas aptas a ser rebocadas. Nos suportes de tijolos mais lisos, as juntas não eram preenchidas, para aumentar a rugosidade do paramento e facilitar a compactação entre o substrato e a argamassa (MATEUS, 2002).

Nessa composição dos revestimentos antigos existiam as camadas de regularização e proteção (denominadas de emboço, reboco e esboço) e as camadas de proteção, acabamento e decoração (identificada como barramento, pintura mineral simples ou de ornamentação, do tipo fingido ou pintura mural) (MARQUES *et al*, 2015).

Para regularização e proteção eram utilizadas argamassas de cal e areia. Em alguns casos ainda se contava com a utilização de adições minerais e orgânicas. O emboço, reboco e o esboço deviam ter uma espessura da ordem de 15 a 30 mm. Quando acontecia da irregularidade das alvenarias exigir espessuras superiores era recomendada a execução prévia de uma camada com encasques em que se usavam fragmentos de tijolos ou de pedra, amarrava-se a camada de emboço com grandes inertes (fragmentos de tijolo, telhas ou pedra), com fibras vegetais (sisal), animais (pelo de cabra ou crina), ou ainda, com redes metálicas, para aumentar a resistência da camada e evitar sua fácil desagregação com o passar do tempo (MATEUS, 2002).

Já as camadas internas do revestimento tinham traços mais ricos em ligante e granulometria da areia mais grosseira. Assim, conseguia-se com que a deformabilidade e a porosidade aumentassem das camadas internas para as externas, promovendo um bom comportamento frente às deformações estruturais e a água. As camadas mais finas eram em maior número e permitiam uma melhor capacidade de proteção à água e

uma durabilidade superior sem afetar a permeabilidade ao vapor de água. Essa porosidade tão importante das argamassas antigas era correntemente denominada por capacidade de respiração da parede (MATEUS, 2002).

O emboço trata da primeira camada, a que estabelecia o contato com a parede, contudo mais grosseira com agregado de granulometria mais graúda. Essa camada tinha a função principal de proteger a base do paramento e constituir um estrato com geometria adequada à aplicação das camadas seguintes. O traço da argamassa utilizada era 1 de cal em pasta e 2 a 4 de areia média (MATEUS, 2002).

Rodrigues (2004) diz que, durante a execução da camada do emboço, a argamassa era projetada com força e bem apertada com uma colher de pedreiro apresentando aspecto áspero, para melhor aderência das camadas posteriores. Logo após, era deixado para secar por períodos que podiam atingir de três a seis semanas, e assim permitir a carbonatação da cal aérea antes da aplicação da próxima camada.

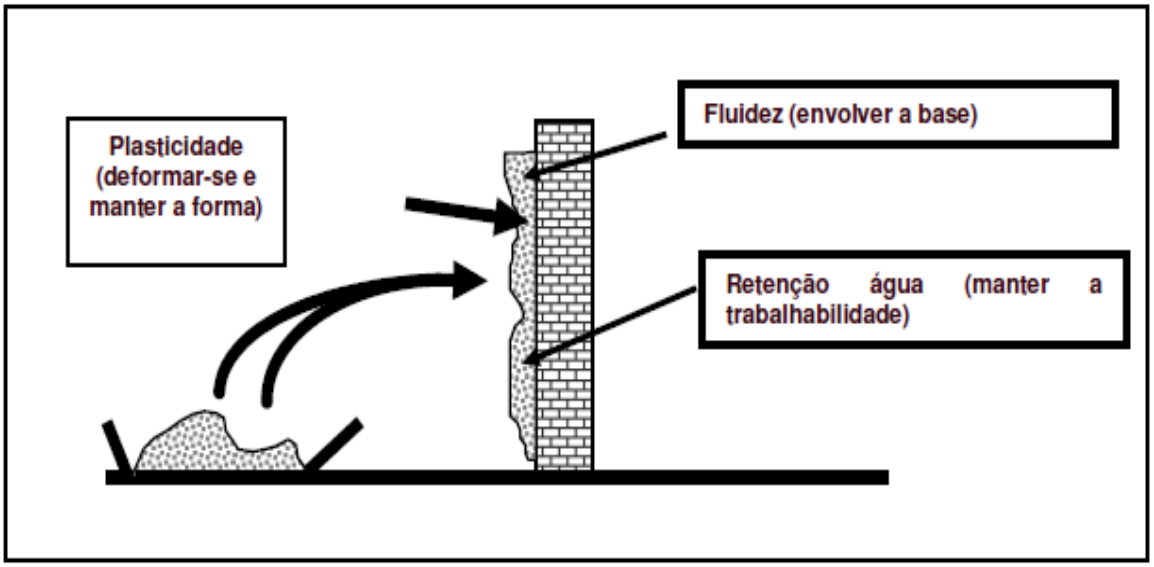
O reboco trata da camada intermediária, de regularização, que servia de base ao acabamento. A dosagem era muito parecida com a do emboço, no entanto, o teor de ligante era reduzido do interior para o exterior (MATEUS, 2002).

E, por fim, o esboço era a camada de preparação para o acabamento, de pequena espessura, com granulometria fina e, em geral, de textura lisa. Nos edifícios mais pobres podia não existir, neste caso o acabamento final era obtido com caiação aplicada diretamente sobre o reboco (MATEUS, 2002).

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MECÂNICAS DAS ARGAMASSAS

De acordo com Bauer (2007), com relação às características físicas, químicas e mecânicas das argamassas, o processo de execução dos revestimentos exige condições peculiares e específicas. As argamassas devem ter uma boa plasticidade para se deformar sobre a superfície do substrato quando do lançamento e aplicação, fluidez para envolver a rugosidade do substrato em que será lançado, e retenção de água para manter a trabalhabilidade durante a aplicação da argamassa. A Figura 2.1 ilustra as características iniciais de plasticidade, fluidez ao envolver a base do substrato e a retenção de água para manter a trabalhabilidade durante a aplicação do revestimento de argamassa.

Figura 2.1 – Condições de aplicação da argamassa.



Fonte: Bauer (2007).

Uma característica de trabalhabilidade e adesão é que quando a argamassa é lançada sobre o substrato, ela deve fixar-se sobre esta superfície. A propriedade que coordena esta situação é conhecida como adesão inicial. Com o passar do tempo, a argamassa perde água em grande quantidade para o substrato, perdendo assim suas características de plasticidade. Logo, a argamassa continua fixa ao substrato e está apta a sofrer as manipulações de regularização. Já a aderência evolui e se desenvolve com a hidratação do cimento somado a contribuição dos aglomerantes (BAUER, 2007).

É importante conhecer as propriedades e características das argamassas de prédios históricos visando a elaboração de uma argamassa semelhante para aplicação em reabilitação de revestimentos antigos. Contudo, de acordo com Velosa (2006) e Rodrigues (2004), a simples obtenção do conjunto de características e propriedades químicas, físicas e mecânicas destas argamassas não resulta na produção de uma argamassa idêntica a original, tendo em vista a idade, as ações de envelhecimento natural e a deterioração a qual o revestimento esteve sujeito.

Segundo Recena (2014) é evidente que é impossível replicar exatamente um material antigo em seu estado original. Obviamente que as propriedades podem ser adquiridas parcialmente, mas o efeito que o tempo causou nesse material e no substrato, o envelhecimento natural e as alterações que foram sujeitas não serão capazes de serem elaboradas. Velosa (2006) explica que com o passar dos anos as mutações sofridas em função do tempo, fenômenos de erosão, poluição atmosférica e

com a própria reação química dos componentes da argamassa entre si e com o suporte não se pode esperar uma réplica de originalidade do revestimento.

Para se conseguir características necessárias é preciso obter um comportamento semelhante ao esperado em argamassas de substituições e reparos. É preciso que haja uma criteriosa escolha dos materiais envolvidos, o que é fundamental para que haja preservação e durabilidade, sem comprometer o aspecto original da edificação (VEIGA, 2003). De acordo com Veiga (2003) para os rebocos externos, característica como absorção capilar da água deve ser mediana, com facilidade na secagem. A permeabilidade ao vapor de água deve ser alta, a fim de evitar com que ocorra condensação da água no interior da alvenaria, permitindo que a parede seque. A estrutura porosa deve ter predominância de pequenos poros, embora implique em aumento no coeficiente de capilaridade. Já a resistência mecânica deve ser suficiente para realizar a função de proteção contra ações mecânicas de choque e erosão, além da resistência aos sais solúveis, mais comuns em paredes antigas. Além do mais, aderência ao suporte para a proteção da alvenaria, resistência a ciclos de calor e frio, calor e água e água e gelo e compatibilidade de cor, textura e brilho com as argamassas preexistentes.

A porosidade é um requisito funcional muito importante para as argamassas de cal, incidindo no comportamento higroscópico com repercussão na durabilidade, vida útil, na resistência mecânica controlando, tanto o fluxo de água como a retenção e evaporação da umidade e a penetração do ar, responsável pela carbonatação do hidróxido de cálcio (Kanan, 2008).

Alvarez, Sequeira e Costa (2005), dizem que, para a reabilitação de uma edificação, essas argamassas de reparo devem permitir a respiração da parede, dando passagem ao vapor de água, (a utilização de ligantes com estruturas abertas e agregados com curvas granulométricas criteriosamente escolhidas). Porém, ao mesmo tempo impedir a passagem de águas pluviais, para que no reboco antigo, altamente contaminado com sulfatos e cálcio não venham a ser dissolvidos pela água em circulação no interior da parede e arrastados para a interface, contribuindo para o destacamento do reboco de reabilitação.

Em função da aplicação da argamassa em revestimentos, inúmeros requisitos podem ser exigidos com diferentes níveis de importância a serem observados. Com relação às argamassas históricas de prédios antigos, Hughes (2010) apresentou a classificação da importância dos requisitos funcionais de aplicação e utilização para

diferentes tipos de argamassas (Quadro 2.1). No Quadro, é possível observar as questões de funcionalidade das argamassas e suas classificações de importância frente à aplicação.

Quadro 2.1 – Funcionalidade versus classificação da argamassa.

TIPOS DE ARGAMASSAS					
Requisito	**Assentamento**	**Rejunte**	**Revestimento externo**	**Reparo**	**Revestimento interno**
Aderência	3	3	3	2	3
Resistência (compressão e flexão)	2	2	1	2	1
Deformabilidade e elasticidade	3	3	2	3	1
Proteção ás intempéries					
Resistência à penetração de água	2	3	3	1	1
Resistência à gelo e degelo	2	3	3	1	0
Dilatação térmica	1	1	3	1	3
Permeabilidade ao vapor d'água	2	3	3	1	3
Comportamento à molhagem e secagem	2	3	3	0	3
Estética	1	3	3	0	3
Em relação ao substrato os valores de resistência e deformação da argamassa devem ser menores					
que da alvenaria					
Classificação - 0 = sem importância - 3 = muito importante					

Fonte: Hughes (2010).

Outros critérios para classificação das argamassas são quanto ao tipo de aglomerante, plasticidade e consistência ou quanto à forma de preparo e fornecimento. (PCZIECZEC, 2017). A aplicação de uma argamassa é determinada pelo tipo de aglomerante a ser usado na mistura. A argamassa mista de cimento e cal é utilizada em alvenarias estruturais ou não, em contrapisos e no preparo de pisos para receberem revestimento cerâmico e aplicado como emboço de paredes. Já as argamassas de cimento são utilizadas nos revestimentos onde são exigidas condições de impermeabilidade, como é o caso de obras hidráulicas e no interior de reservatórios de água (Fiorito, 2009).

Com base nesses critérios e de acordo com as funções que argamassa desempenha na construção civil ela pode ser classificada em função de suas

finalidades e aplicações. O Quadro 2.2 apresenta a classificação das argamassas segundo suas funções e finalidades.

Quadro 2.2 – Classificações das argamassas segundo suas funções.

FUNÇÃO	TIPOS
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) Argamassa de fixação (ou encunhamento) - Alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimento cerâmico (paredes/piso)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010).

De acordo com cada uso específico do material na construção civil é que se define o tipo de argamassa a ser utilizada. Desse modo, e com os demais estudos sobre as características das argamassas pode-se adquirir um material pertinente à devida utilização.

2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

2.4.1 Trabalhabilidade

O conceito de trabalhabilidade, segundo Selmo (1989), objetivando a parte prática na construção civil é a facilidade da argamassa em ser penetrada por uma colher de pedreiro mantendo-se coesa e sem aderir a colher ao ser transportada para uma desempenadeira e posteriormente lançada à base do substrato.

Já Sabattini (1986) define a trabalhabilidade da argamassa pela capacidade de se distribuir e não segregar ao ser transportado, não endurecer e permanecer plástica para conseguir ser trabalhada.

A trabalhabilidade de uma argamassa dita a facilidade com que ela será manuseada ao ser misturada, transportada e aplicada. É resultante de outras

propriedades também, como a consistência, plasticidade, retenção de água, a exsudação, a densidade e a adesão inicial (CARASEK, 2010).

Segundo Baía e Sabbatini (2000) uma argamassa pode ser considerada trabalhável quando, ao ser lançada na parede, distribuir-se facilmente sem endurecer e nem aderir na ferramenta de manuseio e sem segregar no transporte além de permanecer plástica durante o tempo da sua aplicação.

Com relação à trabalhabilidade das argamassas de reparo e reabilitação, na Alemanha, é obtida através da consistência da argamassa por duas medidas espaçadas de 15 minutos uma da outra. Caso o resultado entre essas duas medições seja inferior a 3 centímetros (cm) a trabalhabilidade da argamassa encontra-se adequada. Todavia, se essa diferença resultar em medições superiores a 3 cm a trabalhabilidade não é adequada (WTA 2-2-91,1995).

2.4.2 Consistência e Plasticidade

De acordo com Bianchin (1999) a consistência da argamassa é uma propriedade que tem por finalidade resistir às deformações que são lhe impostas, sendo a responsável pela determinação da trabalhabilidade.

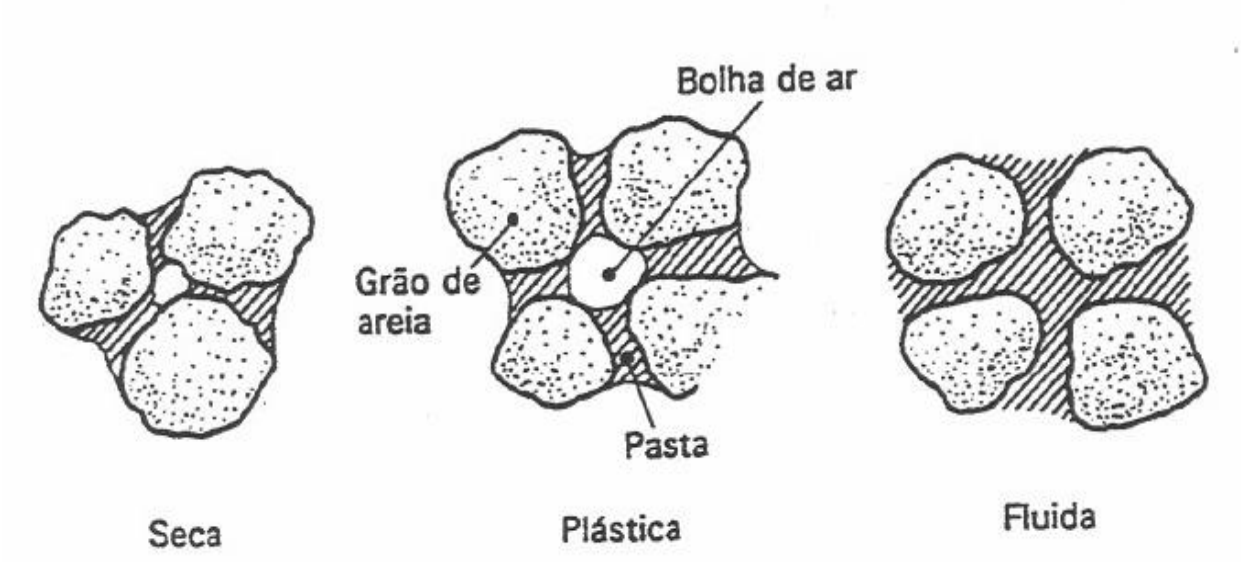
A consistência está ligada diretamente a capacidade de a argamassa deformar-se sob a ação de cargas. A quantidade de água presente na mistura de argamassa influencia nessa capacidade de deformação. Argamassas de consistência mais fluidas apresentam menor tensão de escoamento. Já a plasticidade está relacionada com a capacidade de a argamassa manter-se deformada após a redução das tensões de deformação (CARASEK, 2010).

Rago e Cincotto (1999) explicam que a plasticidade e a consistência das argamassas são propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade e são influenciadas pelo teor de água, teor de ar incorporado e pelo processo da mistura da argamassa.

A plasticidade e a consistência podem ser alteradas quando há o contato com o substrato de aplicação, pois a sucção do substrato, a textura superficial e características de movimentos da água no interior da mistura são fundamentais e podem alterar essas propriedades (CARASEK, 1996).

Sabattini (1984) classificou as argamassas quanto a sua consistência, indicando se ela é seca, plástica ou fluida (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Consistência da argamassa.



Fonte: Sabattini (1984).

A argamassa quanto mais seca estiver terá menor consistência. É preciso ter cuidado na argamassa plástica e fluida, pois pode ocorrer o fenômeno da exsudação. A exsudação é quando fica água livre na superfície, fazendo com que o interior da argamassa fique mais seco, não permanecendo homogênea (SABATTINI, 1984).

Segundo a NBR 13276 (ABNT 2005b) a consistência da argamassa é determinada pela medida do espalhamento de uma porção de argamassa realizada por meio de ensaios de mesa de consistência (também chamado de Flow Table) que quanto menor for o diâmetro de espalhamento, mais difícil será da argamassa se deformar.

Já para o teor de ar incorporado, as proporções de aglomerantes e agregados, o tempo, a intensidade e o modo com que a mistura é preparada influenciam na plasticidade da argamassa (CARASEK, 1996). Vargas e Comba (1984) classificaram as argamassas de acordo com a sua plasticidade, apresentado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Classificação quanto à plasticidade da argamassa.

PLASTICIDADE	TEOR DE FINOS (%)
Gorda	>25
Normal	25 a 15
Magra	<15

Fonte: Vargas e Comba (1984).

Ainda, o Caderno Alemão de Recomendações WTA (1995) cita que a consistência da argamassa deve compreender entre 170 (+ ou -) 5 mm (medida pela DIN 18555-P2). Bianchin (1999) explica que essas medidas não podem ser tomadas como referência de uso no Brasil visto que a aplicação da argamassa é manual e na Alemanha é feita de forma mecânica.

2.4.3 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade que a argamassa possui de não endurecer quando entra em contato com o substrato. Essa propriedade está relacionada à capacidade de retenção da consistência onde a argamassa tende a conservar a água necessária para a molhagem da superfície dos materiais secos (BIANCHIN, 1999).

De acordo com Cincotto, Silva e Carasek (1995) a superfície específica dos materiais, a maturação das argamassas de cal, a natureza e a qualidade da cal, o teor de cal e a relação de cimento com cal e a relação agregado/aglomerante são fatores que influenciam a capacidade de retenção de água nas argamassas.

Segundo Bianchin (1999) a propriedade de retenção de água na argamassa, em seu estado fresco, é responsável por outras propriedades na argamassa em seu estado endurecido. O quão maior for a retenção de água maior será a hidratação do cimento e a carbonatação da cal, que são responsáveis pelo endurecimento da mistura devido às reações químicas durante o processo de cura.

Carasek (2010) diz que a retenção de água está ligada a capacidade da argamassa em manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, que pode ser por evaporação e por absorção de água da base, interferindo no processo de acabamento e na retração plástica do material. A retenção de água também afeta as propriedades da argamassa no estado endurecido, como a aderência, a resistência mecânica e a durabilidade do material.

A norma ASTM C-270 (ASTM, 2007), versa sobre a retenção de água das argamassas, que não deve ser inferior a 75%. O Quadro 2.4 apresenta a classificação das argamassas por meio da retenção de água segundo a NBR ABNT 13281 (ABNT, 2005a).

Quadro 2.4 – Classificação das argamassas em função da retenção de água.

CLASSE	RETENÇÃO DE ÁGUA (%)
U1	<78
U2	72 a 85
U3	80 a 90
U4	86 a 94
U5	91 a 97
U6	95 a 100

Fonte: NBR 13280 (ABNT 2005a).

A retenção de água nas argamassas permite que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes da mistura ocorram de maneira mais gradativa, proporcionando adequada hidratação do cimento e um aumento de resistência. A quantidade de água utilizada para garantir a trabalhabilidade na argamassa de revestimento é maior que a necessária para gerar as reações de endurecimento, por isso esse excesso de água pode ser perdido por evaporação ou para o substrato que será aplicado a argamassa (BAÍA E SABBATINI, 2000).

A qualidade do revestimento pode ser afetada em função da capacidade adequada de retenção de água. As reações de hidratação do cimento e carbonatação da cal ficarão comprometidas podendo afetar o desempenho da argamassa ao longo do tempo. A retenção de água pela argamassa depende da capacidade de aprisionamento do liquido pelas partículas finas (BAÍA E SABBATINI, 2000).

A NBR 13277 (ABNT, 2005c) possui um método de determinação da propriedade de retenção de água da argamassa em seu estado fresco baseado na medida da massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo em um funil de filtragem.

Existem outros métodos de determinação da retenção de água na argamassa em seu estado fresco e de consistência. O Quadro 2.5 apresenta, resumidamente, outros métodos de obtenção da retenção de água nas argamassas.

De acordo com o Quadro 2.5 os principais ensaios de retenção de água e retenção de consistência para a argamassa são o BS 4551 (BSI, 1980), a DIN 18555-P7 (DIN, 1987), o MR1-21 (RILEM, 1982), a NBR 13277 (ABNT, 1995) e a NBR 9587 (ABNT, 1986).

Quadro 2.5 – Métodos para determinar a retenção de água na argamassa.

ENSAIOS		MÉTODOS EMPREGADOS
Retenção de água	BS 4551	Medida da massa da água retida após sucção feita em discos de papel filtro empilhados e pressionados por dois minutos.
	DIN 18555 - P7	Medida da massa da água retida após sucção feita com placas filtrantes colocadas sobre a argamassa por cinco minutos.
	MR1 - 21	Idêntico ao do BS onde o contato é feito diretamente com componentes da alvenaria.
	NBR 13277	Idêntico ao do BS mudando apenas a gramatura do papel filtro e a quantidade de discos.
Retenção de consistência	NBR 9587	Emprega o funil de BUCHNER modificado.
	BS 4551	Emprega o ensaio do "dropping ball" utilizado para determinar a consistência.

Fonte: Bianchin (1999).

Sabattini (1986) relata que se as normas não forem seguidas e a argamassa não possuir uma retenção de água adequada ela ficará suscetível a retração na secagem que é aumentada, a resistência de aderência será diminuída e a capacidade de deformação também. Isso acontece porque a hidratação do cimento e a carbonatação da cal irão ficar prejudicadas por falta de água contribuindo para a baixa durabilidade e a estanqueidade da parede ao longo do tempo. Por isso, torna-se necessário seguir as recomendações das normas mencionadas, para que não haja comportamento indesejado na argamassa, em seu estado fresco, quanto a retenção de água e índice de consistência.

2.4.4 Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica também chamada de densidade de massa é uma propriedade que varia com os materiais envolvidos na constituição da argamassa e com o teor de ar incorporado, que é a porção de ar contida na argamassa. Segundo Carasek (2010) uma massa específica menor significa uma argamassa mais leve e mais trabalhável ao longo do tempo.

Existe uma série de ensaios para determinação da massa específica ou densidade de massa assim como para o teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco, que seguem a NBR 13278 (ABNT, 2005d). A densidade de massa é representada pela relação entre a massa e o volume do material, sendo expressa em grama por centímetro cúbico (g/cm³).

Em conformidade com Bianchin (1999) a massa específica ou densidade de massa e o teor de ar incorporado na argamassa afetam na trabalhabilidade do material. O teor de ar incorporado aumenta em função da diminuição da massa específica, por isso as argamassas se tornam mais leves e trabalháveis. Em alguns casos é preciso utilizar aditivos como incorporadores de ar, dosados adequadamente para não comprometer o desempenho da argamassa. Esses produtos são inseridos no interior da argamassa para criar microbolhas que podem reduzir a resistência de aderência nos revestimentos endurecidos, por isso a importância da dosagem. Trabalhabilidade e rendimento são os benefícios dos produtos incorporadores de ar.

Para Carasek (1996), o tipo de incorporador de ar utilizado na mistura influencia beneficamente ou maleficamente o material, pois os tamanhos das bolhas de ar formado afetam diretamente a aderência. Bolhas de ar pequenas e com tamanhos uniformes favorecem a resistência de aderência e bolhas com tamanhos e estruturas irregulares e grandes diminuem a resistência de aderência ao material endurecido.

As argamassas podem ser classificadas em leves, normais ou pesadas, conforme Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Classificação das argamassas quanto à massa específica.

Argamassa	**Massa específica g/cm³**	**Principais agregados empregados**	**Usos/observações**
Leve	<1,40	Vermiculita, perlita e argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	2,30<ρ<1,40	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	>2,30	Brita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek (2010).

Segundo Quarcioni *et al.* (2009), a porosidade de um revestimento em argamassa é ligada à sua composição, assim como o modo de aplicação, processo de cura, textura e porosidade da base onde será aplicada. A porosidade interfere diretamente na durabilidade do revestimento, pois contribui para o acúmulo de umidade possibilitando o surgimento de fungos. Caso a argamassa seja submetida à molhagem e secagem, os sais solúveis acabam por se cristalizar fazendo com que haja uma expansão do material da argamassa, sendo assim o material virá a fissurar ou romper.

Por isso, o percentual de porosidade da argamassa, o tipo e a distribuição dos poros em sua microestrutura permitem avaliar o desempenho do revestimento.

Nas argamassas alguns fatores influenciam na massa específica e no teor de ar incorporado como a maturação da cal que por 24 horas ainda há o aumento do teor de água retido, o aumento do teor de aglomerante que acaba por diminuir o teor de ar na argamassa e a redução do módulo de finura que aprisiona o ar na argamassa. (BIANCHIN, 1999).

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) informa que o teor de ar incorporado nas argamassas para aplicação de recuperação deve ser superior a 25% para que a argamassa apresente uma porosidade adequada e uma baixa massa específica ou densidade de massa.

2.4.5 Adesão inicial

A adesão inicial nas argamassas, segundo Carasek (2010), é a capacidade da argamassa, no estado fresco, de unir-se a uma base ou substrato. A adesão inicial depende das características de trabalhabilidade da argamassa e do substrato onde ela será aplicada. A redução da tensão superficial da pasta propicia um maior contato com os grãos de agregado e com a base, o que implica numa melhor adesão. A cal na argamassa contribui para a diminuição da tensão superficial e uma melhora significativa na adesão da argamassa ao substrato.

Bianchin (1999) explica que a adesão inicial da argamassa tem por finalidade avaliar a aderência ao substrato e a aderência é a ligação do substrato argamassa endurecida.

De acordo com Rosello (1976) a adesão inicial da argamassa se deve as características reológicas da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerante. Também é influenciada pela ancoragem mecânica da argamassa e da pasta nos poros e irregularidades do substrato. Para garantir uma melhor adesão inicial entre a pasta e a base cuidados como molhar a base, limpar a base, a capacidade da base de permanecer úmida durante a aplicação da argamassa, espalhamento, sarrafeamento e retenção de água adequada são essenciais para manter a adesão inicial da argamassa com a base.

A adição de cal, aditivos incorporadores de ar e produtos retentores de água em argamassas de cimento diminuem a tensão superficial da água o que ajuda na melhoria da molhagem das superfícies dos agregados e do substrato (KAMPF, 1961).

2.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

2.5.1 Retração

A retração em argamassas é a propriedade da argamassa de perder água de hidratação. Segundo Pczieczek (2017) a retração é a facilidade com que ocorre a perda de água de amassamento pelas reações de hidratação dos aglomerantes, o que faz com que a argamassa venha a trincar ou fissurar. Durante o processo de cura da argamassa, para argamassas ricas em cimento existe maior probabilidade para o surgimento de fissuras e trincas.

O teor de materiais pulverulentos e o teor de água na argamassa influenciam para que haja retração, no estado endurecido (CARASEK, 2010). Quanto maior o teor de finos, maior a retração, pois há a solicitação de maior quantidade de água de amassamento. A variação do volume da pasta aglomerante ocasiona perda de desempenho das argamassas aplicadas, especialmente no que diz respeito à durabilidade e estanqueidade.

Cintra (2013) explana que a retração na argamassa começa no estado fresco e segue até o seu endurecimento. É fundamental que a cura da argamassa seja feita de forma lenta para que se tenha tempo suficiente em atingir uma resistência à tração necessária para suportar as tensões internas que surgirem. Pczieczek (2017) explica que se o clima estiver seco, quente e com ventos fortes, a evaporação aumenta e maior será a perda de água da argamassa, gerando fissuras de retração; o mesmo ocorre quando a argamassa é aplicada sobre uma base muito absorvente.

Em se tratando dos revestimentos argamassados, as fissuras de retração formam ângulos próximos a 90° entre si. Quando duas fissuras formarem ângulos muito agudos, pelo menos uma delas não é de retração. Revestimentos com maiores espessura terão retrações maiores. Muitas das manifestações patológicas em revestimentos argamassados são derivadas da retração, pois as fissuras são porta de entrada para a água o que pode acarretar na presença de fungos, vesículas, bolores e provocar o deslocamento do revestimento e do acabamento final (CARASEK, 2007).

2.5.2 Resistência de aderência à tração

A NBR 13528 (ABNT, 2010) determina que a resistência de aderência à tração seja a tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento, na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.

A aderência está relacionada com a trabalhabilidade da argamassa e as características e propriedades do substrato e dos fatores externos. Altos teores de cimento nas argamassas possuem alta resistência de aderência, entretanto podem ser menos duráveis por possuir maior tendência ao aparecimento de fissuras. Já as argamassas contendo cal possuem maior extensão de aderência, pois preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato. Por isso, para garantir uma boa aderência, procura-se utilizar argamassas mistas de cimento e cal (CARASEK, 2010).

Bianchin (1999) define a aderência da argamassa como sendo a sua capacidade de resistir a tensões normais ou tangenciais na interface do substrato com o revestimento. Durabilidade do revestimento não pode ser obtido apenas com um índice alto de aderência, é preciso que outras características estejam em conformidade com essa propriedade.

Selmo (1996) menciona essas outras características como sendo a trabalhabilidade (levando em consideração a coesão e retenção de água), a execução do revestimento (compactação, prensagem e ancoragem ao revestimento), a textura e a porosidade do substrato (aumento da superfície para ancoragem) e as condições de limpeza (poeiras, partículas, fungos, sais, óleos e graxas).

A retenção de água na argamassa em seu estado fresco evita a saída precoce da água de hidratação do cimento que formam as agulhas de ancoragem (o encunhamento) (BIANCHIN, 1999).

Também conhecida como resistência ao arrancamento a avaliação de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassas segue os princípios da NBR 13528 (ABNT, 2010). A norma permite que a análise da resistência de aderência seja feita tanto em laboratório como em obra.

Existem alguns limites pré-estabelecidos para a resistência de aderência à tração em paredes e tetos. O Quadro 2.7 mostra os índices de aderência determinados pela NBR 13749 (ABNT, 2013). Os requisitos para classificar as argamassas quanto à

resistência de aderência à tração estão de acordo com as exigências da NBR 13281 (ABNT, 2005 a) apresentados no Quadro 2.8.

Quadro 2.7 – Limites estabelecidos para resistência de aderência à tração.

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

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

Quadro 2.8 – Classificação quanto à resistência de aderência à tração.

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)
A1	<0,20
A2	≥0,20
A3	≥0,30

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

Segundo Bianchin (1999) os ensaios como arrancamento (por tração ou cisalhamento), em corpos de prova, cortados nos revestimentos também podem ser utilizados para avaliar a resistência de aderência à tração nas argamassas de revestimentos.

2.5.3 Capacidade de absorver deformações

Todo revestimento de argamassa deve possuir a capacidade de absorver algumas deformações. Carasek (2010) salienta que essas deformações não podem comprometer a aderência, estanqueidade e durabilidade da argamassa. O módulo de elasticidade e a resistência mecânica podem influenciar na fissuração e na aderência dos revestimentos. A resistência mecânica e a capacidade de absorver deformações são inversamente proporcionais, pois a deformabilidade do material para um mesmo carregamento é tanto menor quanto maior for a sua capacidade de resistência (PCZIECZEK, 2017).

A capacidade de deformação da argamassa para revestimento ou assentamento de componentes de alvenaria é de fundamental relevância. A argamassa não se

deforma livremente porque está sujeita às restrições de tensões decorrentes da aderência à base em que se encontra aplicada. Se a capacidade de deformação não for compatível com as tensões geradas podem ocorrer prejuízos à funcionalidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

No entanto, deformabilidade do material não pode ser o suficiente para que ocorra a ruptura, pois deve retornar ao seu estado inicial após o cessamento da carga. Caso não haja elasticidade o bastante para retornar ao estado inicial pode haver fissuras, trincas, deslocamento de material e descolamento do revestimento, ficando a durabilidade comprometida (BIANCHIN, 1999).

Logo, o módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico e proporciona a medida da rigidez do material ligado às propriedades mecânicas de tensão de escoamento, tensão de ruptura, temperatura de propagação de fissuras. Trata-se de uma propriedade intrínseca e depende da composição química do material, microestrutura e defeitos. Também pode ser considerado como a relação entre a tensão aplicada sobre a argamassa e a capacidade de absorver essas deformações. Quanto maior o valor do módulo de elasticidade, menor a sua deformação e maior a sua capacidade de suportar cargas sem deformações definitivas (ALMEIDA, 2012).

De acordo com Fiorito (1994) as tensões de tração e o módulo de elasticidade da argamassa são maiores em pastas com maiores teores de cimento. Há maior deformação nas argamassas pobres com menores teores de cimento e menor elasticidade em argamassas ricas, com altos teores de cimento.

Bianchin (1999) explica que nas argamassas ricas e muito ricas, aquelas que possuem elevados teores de cimento em sua composição, a propriedade da retração influencia fortemente no aparecimento de fissuras quando os esforços de tração ultrapassam os limites da resistência do material. Um menor módulo de elasticidade da argamassa faz com que haja menor força de ligação entre as moléculas internas dissipando-se então na forma de microfissuras. E, quando o módulo de elasticidade da argamassa é maior, as moléculas possuem maior força de ligação e as tensões internas aparecem na forma de macro fissuras.

Fiorito (1994) apresenta na Figura 2.3 a evolução das tensões de tração ao longo do tempo para revestimentos de argamassas.

Figura 2.3 – Evolução das tensões de tração.

Fonte: Fiorito (1994).

Segundo Joisel (1981) o aparecimento de fissuras por falta de elasticidade do material e resistência a tração podem ser em função de retração térmica, retração por secagem e ações externas dos revestimentos de argamassa. Logo, um material com alto módulo de elasticidade pode apresentar fissuras, mas do tipo microscópicas e próximas.

.

2.5.4 Resistência à tração na flexão e à compressão

A resistência à tração na flexão e à compressão ou só resistência mecânica varia de acordo com as cargas a que o material está submetido. A argamassa deve ter resistência para suportar as movimentações do substrato que podem aparecer por muitos motivos como recalques, variação dimensional por ciclos de umedecimento e secagem, dilatação e contração do revestimento pelas mudanças de temperatura. Essas cargas quando aplicadas na argamassa podem provocar fissuras ou falha na aderência entre a argamassa e o substrato, que devem ser combatidas pela resistência mecânica das argamassas (TRISTÃO, 1995).

A resistência mecânica de um revestimento é a capacidade que ele tem de resistir aos esforços mecânicos de tração, compressão e cisalhamento que são

gerados por tensões nas superfícies verticais ou por fenômenos térmicos ou climáticos. A intensidade da carga aplicada deve variar com diversos parâmetros como o tipo e uso da edificação, exposição ao meio, impacto, movimentos higroscópicos, movimentos térmicos e abrasão superficial. Para que isso não ocorra é fundamental que a argamassa seja capaz de suportar essas solicitações previstas e não previstas (CINCOTTO, 1988).

Bianchin (1999) salienta que as propriedades mecânicas das argamassas vão depender da estrutura física dos produtos de hidratação da cal e do cimento, da relação água/cimento e do teor de aglomerante.

Selmo (1989) diz que a natureza e a dosagem dos materiais são fatores determinantes na resistência mecânica dos revestimentos de argamassa. Pode-se dizer que a adição de cal aumenta a capacidade de deformação das argamassas e com isso o módulo de elasticidade diminui tendendo a absorver melhor as deformações solicitadas. As argamassas que possuem baixo consumo de aglomerante ou possuem cal e areias em excesso apresentam baixa resistência à abrasão fazendo com que fiquem esfareladas. Já a redução da relação água/cimento faz com que o revestimento de argamassa seja mais resistente aos esforços de compressão.

Segundo Carasek (2010) a resistência mecânica dos revestimentos de argamassas é à propriedade de possuir um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens, como as tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

O traço, também tem papel importante na resistência mecânica das argamassas. A resistência à tração e à compressão evoluem com limitadas adições de cal. Contudo, quando o volume cresce a resistência à compressão e o módulo de elasticidade decrescem. Quanto maior o teor de cimento, maior será a resistência à compressão, tração e rigidez, e, quanto maior a relação água/cimento, menor será a resistência à compressão e à tração das argamassas convencionais mistas de cimento, cal e areia (QUARCIONI, *et al,* 2009).

Os requisitos mecânicos e reológicos normativos para as argamassas devem seguir as exigências contidas na NBR 13281 (ABNT, 2005a), apresentados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Exigências mecânicas e reológicas das argamassas.

Características	Identificação	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	≥0,1 e <4,0
	II	≥4,1 e ≤8,0
	III	>8,0
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	≥80,0 e ≤90,0
	Alta	>90
Teor de ar incorporado (%)	A	<8
	B	≥8,0 e ≤18,0
	C	>18

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

De acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) para analisar a resistência mecânica dos revestimentos de argamassas são realizados os ensaios de resistência à compressão simples, resistência à tração e resistência ao cisalhamento. A resistência à compressão de um revestimento para recuperação deve ser de 1,5 a 5 Mega Pascal (MPa).

2.5.5 Resistência ao ataque por sais solúveis

O concreto e a argamassa se deterioram na presença de sais solúveis. Os sais solúveis como cloretos e sulfatos são originados, principalmente, de ambientes marítimos. Terrenos arrastados por água, materiais de construção civil como areia, brita, tijolos cerâmicos e aglomerantes, produtos armazenados na construção como pesticidas, produtos alimentares salgados e dejetos de animais ou em função da poluição atmosférica também são origens dos sais. Os sais, geralmente, são nitratos, cloretos e sulfatos que são dissolvidos e transportados pela água que circulam no interior dos elementos construtivos (RODRIGUES, 2004).

A resistência dos revestimentos a esses ataques químicos está diretamente ligada à composição dos materiais componentes das argamassas, a natureza dos materiais envolvidos, a resistência ao desgaste superficial e a permeabilidade da argamassa e os materiais adjacentes (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

A deterioração por sulfato se manifesta através de expansão e fissuração. Quando o concreto fissura, fica mais permeável, o que deixa mais fácil a penetração de água no interior, acelerando a deterioração. O ataque por sulfato também pode fazer com que o concreto perca sua resistência de forma progressiva ao longo do tempo,

gerando perda de massa decorrente da perda de coesão na pasta de cimento hidratada e da perda da adesão entre ela e as partículas de agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A durabilidade dos materiais cimentícios é comprometida pela presença de sulfatos. A adição de pozolanas, como a cinza volante, melhora a resistência ao sulfato. Elas são usadas para consumir quimicamente o hidróxido de cálcio do cimento hidratado, originando produtos de reação menos vulneráveis aos ataques por este tipo de íon (BARGER *et al*., 2001).

Bianchin (1999) diz que a eflorescência, que basicamente é constituída de sódio, potássio, cálcio e magnésio totalmente ou parcialmente solúveis em água, é uma manifestação patológica aparente derivada desses sais. Do interior esses sais migram para a superfície do revestimento e por evaporação acabam por se cristalizar na superfície formando um depósito salino.

Corpos de prova em solução de sulfato de sódio e de sulfato de magnésio, em laboratório, podem ser colocados para verificar a contaminação e a resistência da argamassa frente a esses sais. Ciclos de molhagem e secagem aceleram os danos ocasionados pela cristalização dos sais nos poros do material, por isso em cais e piers os danos relacionados aos sais derivados da costa são mais intensos. Os efeitos da exposição podem ser previstos pelas alterações do módulo de elasticidade dinâmico, pela perda de massa, expansão, pela diminuição da resistência do corpo de prova e até aparentemente (NEVILLE, 2016).

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) salienta que para a cristalização dos sais no interior dos poros das argamassas de revestimentos de recuperação, a porosidade do material deve ser igual ou superior a 40%.

2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS

São muitas as manifestações patológicas que podem originar degradações e deteriorações em paredes de alvenarias revestidas com reboco de argamassas. Algumas delas podem, além de permitir uma estética construtiva desagradável, comprometer a estabilidade funcional dos materiais constituintes das edificações. A busca por soluções rápidas, eficientes e inteligentes é um dos maiores desafios enfrentados na área das patologias das construções, por isso a importância de conhecê-los (GUTERRES, 2016).

Essas manifestações patológicas na construção civil normalmente decorrem de processos mecânicos, químicos e físicos. Os processos mecânicos, de acordo com Gewehr (2004), são os esforços mecânicos superiores ou não previstos em projeto e planejamento. Esses esforços podem ser sobrecargas, cargas momentâneas ou temporárias e dinâmicas do solo. Podem provocar fissuras, microfissuras, descolamento e desagregação dos materiais. Por isso, é preciso projetar as cargas que possam exceder o limite máximo de resistência mecânica para então poder prevenir essas solicitações.

Os processos químicos são aqueles relacionados às reações químicas existentes derivadas do próprio processo construtivo. Também decorrem do uso e tipo de habitação, organismos vivos e contaminações do ambiente (GEWEHR, 2004). No processo químico a presença de umidade e água são essenciais para que haja o desenvolvimento de patologias.

Os fenômenos físicos relacionados às patologias construtivas são as chuvas, a umidade relativa do ar, o transporte por aerossóis de sais do oceano para o ambiente, absorção capilar, vento e processos de secagem e molhagem (sol e chuva). Gewehr (2004), coloca que, basicamente são esses os agentes atmosféricos que contribuem para degradações e outros processos interligados na construção civil.

Esses três tipos de processos também são classificados como sendo causas diretas da ocorrência de manifestações patológicas. Carrio (1993) afirma que esses tipos de causas são a espoleta para a iniciação da patologia, e outras causas, também chamadas de indireta são a pólvora. Exemplos de causas indiretas podem ser erros de projeto, sistemas falhos de construção, erro de planejamento, defeitos em fôrmas e escoras, materiais contaminados, aplicação e manutenção de uma construção ou edificação.

Para Carasek (2016) a deterioração dos revestimentos é decorrente de ações físicas, mecânicas, químicas e biológicas. Salienta que a distinção é apenas didática, quando na verdade esses processos ocorrem simultaneamente e se sobrepõem. A Figura 2.4 ilustra a classificação dos processos de deterioração dos revestimentos de argamassas, apresentando exemplos de causas típicas associadas a eles de acordo com os processos físicos e mecânicos, químicos e biológicos.

Figura 2.4 – Deterioração em revestimentos argamassados.

Fonte: Carasek (2016).

Como mostra a Figura 2.4 são muitas as patologias envolvendo os revestimentos de argamassas em geral, derivados de processos químicos, físicos e biológicos que interagem entre si e contribuem para a deterioração da construção. Os principais fenômenos envolvidos no processo são os sais e a umidade.

2.6.1 Eflorescência

Os sais que são originados na construção civil são de caráter inerente, pois os próprios materiais utilizados possuem, em sua grande maioria, sais pertencentes aos seus constituintes. Também podem ser adquiridos por contaminações externas, provenientes do solo, do ambiente ou de outros materiais que entram em contato com os elementos construtivos (GUTERRES, 2016).

Segundo Arendt (1995) as eflorescências são cristais de sais, geralmente de cor branca, que se depositam na superfície de tijolos, telhas e dos revestimentos de paredes. Os sais solúveis em água que estejam em solução são trazidos à superfície da alvenaria e depositados por evaporação. Essas soluções salinas podem migrar

através das superfícies das unidades, entre a argamassa e as unidades, pela estrutura porosa da argamassa ou das paredes de alvenarias.

Guterres (2016) explica que as manifestações patológicas de eflorescências normalmente são precedidas pelo aparecimento de manchas de umidade, as quais podem ter origens diversas, na superfície aparente dos revestimentos, com as camadas de tinta ou não. As manchas secam, após determinado período de tempo, geralmente, da periferia da mancha para seu interior ou da parte superior para baixo, determinando assim, as chamadas zonas de umedecimento e secagem. Durante o processo de secagem, na superfície, começam a surgir áreas claras e esbranquiçadas, determinadas pela recristalização dos sais solúveis. Este processo pode ser passível de vários ciclos sucessivos, em períodos pequenos ou não (Figura 2.5).

Figura 2.5 – O fenômeno da eflorescência em parede de alvenaria.

Fonte: Guterres (2016).

Os revestimentos quando possuem características impermeáveis por uso de aditivos, técnicas de impermeabilização superficial, fechamento dos poros dos materiais constituintes, a umidade que consegue contaminar e dissolver os sais encontra grande dificuldade em chegar à superfície do revestimento (FREITAS, 1998). Por isso a importância da realização de certos cuidados em manter revestimentos contra esse tipo de ataque. Mas, esse processo pode permanecer oculto durante um

período variável com as repetidas fases que ocorrem e as consequentes expansões interiores rompem o revestimento e a camada da película protetora.

Quando as formações de eflorescências são originadas pelos sais solúveis derivados dos próprios materiais de construção, o fenômeno tende a ter fim, pois a quantidade de sal acaba por esgotar-se e o ciclo de umidificação e cristalização pode desaparecer ao fim de um determinado período (GUTERRES, 2016).

Arnold (1983) já salientava que o aparecimento de eflorescências e/ou criptoflorescências ocorre, principalmente, pela ação conjunta da água e dos sais solúveis que estão contidos nas construções. Essas anomalias podem também sofrer a influência de outros fatores próprios da construção ou do ambiente de localização e o índice de agressividade local.

Quando ocorre a manifestação patológica de eflorescência na face da parede, frequentemente e erradamente é assumido como sendo culpa do tijolo. Porém, existem, no entanto, sais solúveis presentes em muitas das unidades que constituem o conjunto da parede (GUTERRES, 2016). Por outro lado, quando as paredes são constituídas por blocos de concreto e ocorre a presença de água suficiente para contatar e dissolver os sais, verifica-se uma maior incidência da manifestação de eflorescências nas superfícies.

2.6.2 Deterioração por umidade e sais

Os revestimentos estão expostos e são agredidos diariamente nos locais de exposição, por isso devem apresentar características compatíveis com o desempenho de sua utilização, solicitação e serem duráveis. A vida útil desse material depende dos materiais utilizados, do processo construtivo e da manutenção. A umidade e os sais estão presentes em quase todos os locais da região sul, principalmente no extremo sul do estado, devido a alta umidade relativa do ar e do oceano atlântico, portanto seu entendimento é de extrema relevância.

Segundo Nappi (2002) há duas razões para as manifestações patológicas em revestimentos de edificações que são a água em forma líquida envolvida nas reações químicas que se fazem presentes na elaboração dos revestimentos e a água, também em forma líquida, que leva um componente químico (sais) em direção ao outro.

Posser (2004) afirma que os sais solúveis em contato com a umidade são grandes responsáveis pelo surgimento de manifestações patológicas em revestimentos

de paredes de alvenarias. Existe uma pressão de cristalização dos sais e de hidratação de um sal ou de um combinado de sais que lhes é atribuído para esses mecanismos de deterioração.

As edificações e as construções civis em geral são constituídas de materiais porosos, os quais facilitam o transporte de umidade e sais para as paredes e revestimentos, e assim contribuem para a aparição de manifestações e anomalias indesejadas de recristalização dos sais. A recristalização na superfície externa e esbranquiçada é a eflorescência. Essa nova formação de cristais de sal pode, conforme as características e comportamento dos materiais ocorrer dentro dos poros, principalmente, na zona de contato entre o substrato e o revestimento de reboco, neste caso, a anomalia, é denominado de criptoflorescência ou também de subflorescência (GUTERRES, 2016).

O Quadro 2.10 apresenta um demonstrativo das principais manifestações patológicas em função dos seus aspectos e as causas mais prováveis de acontecer às anomalias em revestimentos argamassados.

Quadro 2.10 – Manifestações patológicas em revestimentos.

Manifestação	Aspectos	Causas prováveis
Eflorescência	Manchas de umidade Pó branco	Umidade constante Sais solúveis Cal não carbonatada
Bolor	Manchas esverdeadas Desagregação	Umidade constante Sem exposição ao sol
Vesículas	Empolamento da pintura Bolhas com umidade	Hidratação retardada da CaO Pirita orgânica Concreções ferruginosas Aplicação prematura de tinta
Descolamento com empolamento	Descolamento do emboço Formação de bolhas Reboco com som cavo	Infiltração de umidade Hidratação retardada da MgO Argamassa rica ou espessa
Descolamento em placas	Placa endurecida Som Cavo	Superfície com substâncias hidrófugas Falta de aderência
Descolamento com pulverulência	Descolamento da película Som Cavo	Excesso de finos Traço pobre Traço rico em cal Camada de reboco espessa
Fissuras horizontais	Ao longo da parede Descolamento do revestimento Som Cavo	Expansão da argamassa Hidratação retardada do MgO
Fissuras mapeadas	Forma variada Em toda superfície	Retração da argamassa de base

Fonte: Cincotto (1988).

De acordo com Sanders *et al* (2007) fatores termodinâmicos e cinéticos influenciam diretamente na pressão de recristalização e estão ligados a presença da umidade, logo a ascensão capilar, a evaporação e a hidratação do cimento são ligadas aos sais pela atividade metabólica de micróbios.

As causas mais prováveis de eflorescência e criptoflorescência são a umidade constante nos revestimentos de argamassas e parede de alvenaria sem revestimento, os sais solúveis presentes na alvenaria e na água de amassamento e a cal não carbonatada. Essas causas geram manchas de umidade e o aparecimento de um pó branco acumulado na superfície dos revestimentos de argamassa e paredes de alvenarias não revestidas. É primordial para o tratamento a eliminação da infiltração e a limpeza do material pulverulento (CINCOTTO, 1988).

Portanto, percebe-se que são inúmeras as patologias e suas formas de manifestação nas paredes, blocos, concretos e revestimentos argamassados causados pela atuação direta da umidade e dos sais solúveis contidos em suas diferentes formas na construção civil. As eflorescências, os bolores, o descolamento de placas (cerâmicas ou não) e as fissuras são os mais comuns e visíveis em primeira análise.

2.6.2.1 Umidade

É evidente que, na região do extremo sul do Brasil, com taxa de umidade relativa do ar elevada, cercada pelo o Oceano Atlântico e Lagoa dos Patos e pelo transporte de sais, a umidade preocupa no que se refere às construções civis, tanto novas quanto as antigas. Posser (2004) menciona que, a água, seja do mar, rios, lagos, chuva ou vapor é o fluido em maior quantidade na natureza. Também, é o fluido mais importante para a sobrevivência na terra, para a fauna e para a flora, porém para as construções civis, se não estudadas adequadamente podem gerar inúmeros malefícios tanto para as estruturas em concreto quanto para vedações e revestimentos de argamassas.

A umidade tanto para os materiais de construção quanto para a construção ou construções já terminadas acaba por provocar o aumento do peso e da porosidade. Sendo assim, compromete a estabilidade dos materiais e das construções. A estabilidade é comprometida quanto ocorrem ciclos de secagem e molhagem, fazendo com que haja dilatações positivas e negativas fazendo com que o material fissure ou fadigue (MERINO, 1993).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a água é detentora de propriedades que são muito úteis quando se menciona a deterioração na construção civil. A água possui capacidade de dissolver substâncias, penetrar em cavidades ou poros de todas as dimensões e permanecer em seu estado líquido ao invés de evaporar-se completamente.

Segundo Merino (1993) a maioria dos problemas relacionados à construção civil está diretamente relacionada à umidade e presença de água nas construções e materiais empregados na construção civil. Já Tonera (1997) menciona que quase 90% dos casos envolvendo manifestações patológicas em construções civis se devem a presença de água.

Em conformidade com Henriques (1995) a presença de umidade nas construções civis e materiais de construção podem ser divididos em seis grupos distintos, sendo eles: umidade de construção, umidade do terreno, umidade de precipitação, umidade de condensação, umidade devida a fenômenos de higroscopia e umidade devida a causas acidentais. Na maior parte das vezes, esses fenômenos não ocorrem isolados e sim de forma associada, juntamente com os sais solúveis.

2.6.2.2 Sais solúveis

Os sais e a umidade estão interligados, pois são dois fenômenos relacionados que contribuem para geração de manifestações patológicas em estruturas de concreto, revestimentos de argamassa e paredes. Não há como combater um desses fenômenos ser combater o outro, por isso a importância de conhecê-los.

Em regiões litorâneas a concentração de sais em materiais construtivos e nas próprias construções é bastante elevada. Isso se dá em função do transporte de sais pelo vento resultantes da água do mar. Geralmente, esses sais se apresentam em formas de eflorescência. Os sais, em seu estado solúvel, não causam deteriorações e manifestações patológicas na alvenaria, pois o problema é quando eles começam a se solidificar (RUARO, 1997).

Merino (1993) diz que a água nunca é pura nos materiais de construção. Ela possui elementos como sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos (Quadro 2.11). Como se sabe de acordo com diversas pesquisas na área relacionada aos problemas em estruturas de concreto armado e paredes de alvenarias com revestimentos de

argamassas, os cloretos e os sulfatos são os que mais prejudicam e são os grandes responsáveis pela maioria dos problemas construtivos.

Quadro 2.11 – Principais sais e sua solubilidade em água.

Tipos de sais	**Solubilidade em água (g/100ml)**
NITRATOS	
Nitrato de Magnésio	125
Nitrato de cálcio	266
CLORETOS	
Cloreto de cálcio	75
Cloreto de sódio	36
SULFATOS	
Sulfato de magnésio	71
Sulfato de cálcio	0,24
Sulfato de sódio	11
CARBONATOS	
Carbonato de sódio	21
Carbonato de potásio	112
MATERIAL E AGLOMERANTE	
Carbonato de cálcio	0,015

Fonte: Gewehr (2004).

O Quadro 2.11 apresenta os principais tipos de sais que se apresentam juntamente com a umidade na superfície e pelo interior de estruturas de concreto e paredes de alvenaria com revestimentos ou não de argamassas.

Bianchin (1999) afirma que, após a cristalização dos sais, começam a se formar manchas brancas, na cor de ferrugem, chamados de eflorescência que, a princípio, só comprometem esteticamente a edificação.

Segundo Gewehr (2004) assim como a umidade, a salinidade também é originada de diferentes formas em obras e manifestações patológicas, são elas: salinidade na construção, salinidade no solo, salinidade por higroscopicidade e salinidade proveniente do ar. Um dos principais sais solúveis que se apresentam na construção civil e tende a cristalizar e recristalizar no interior dos poros dos materiais construtivos são os cloretos.

2.7 ÍONS CLORETO

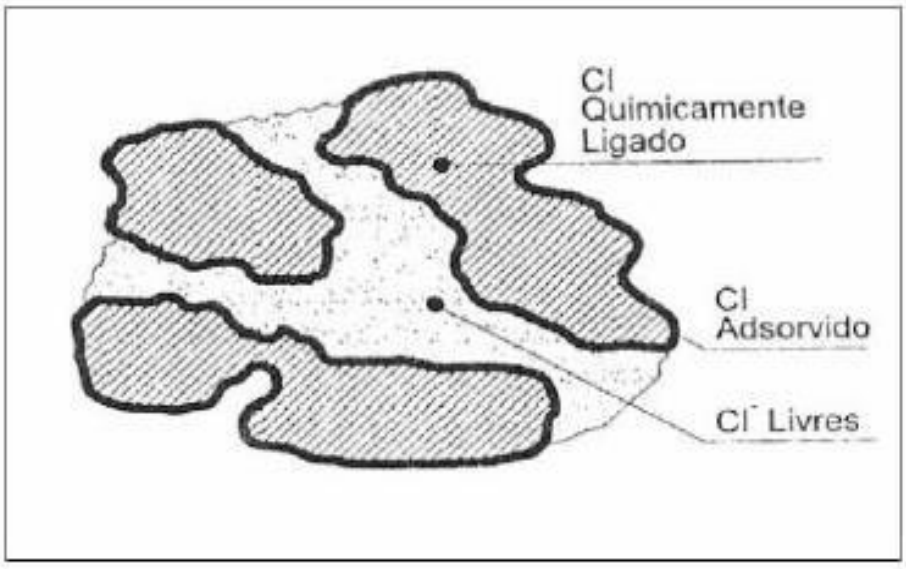
Em Rio Grande, RS, cidade litorânea e portuária a presença de íons cloreto é alta. A maresia do oceano contém cloretos e outros sais solúveis em menores proporções, sendo estes transportados pelos ventos e alcançando estruturas de concreto armado e revestimentos argamassados, além de qualquer componente de obras e edificações das mais próximas as mais afastadas. A agressividade desse agente químico vai depender de alguns fatores, mas principalmente do cobrimento nominal e da qualidade da massa que protege o aço ou o revestimento que protege a alvenaria (SILVA, 2010).

Quando já se encontram no interior da massa do revestimento os íons cloreto podem se apresentar das seguintes formas, conforme Figueiredo & Helene (1994):

- Quimicamente ligado;
- Adsorvido fisicamente na superfície dos poros;
- Livres na solução contida nos poros.

A Figura 2.6 esquematiza as formas de apresentação dos cloretos no interior da massa. Da mesma forma que o íon cloreto se apresenta na massa de concreto ele está presente nas argamassas de revestimentos.

Figura 2.6 – Íons cloreto nos poros do concreto.



Fonte: Cacudo (1994).

Os cloretos que se apresentam no interior da massa quimicamente ligados são aqueles que estão aderidos aos próprios materiais constituintes da mistura de concreto ou argamassa. Já os cloretos adsorvidos fisicamente nas superfícies dos poros são aqueles íons que estão na interface de contato do poro da massa com a constituição química do material. E, os cloretos livres na solução contida nos poros são aqueles que estão presentes diretamente no poro e podem ser transferidos de poro a poro pelos vasos de comunicação entre eles.

Somente os cloretos livres é que estarão disponíveis para reagir com o aço do concreto e são os que causam a corrosão (CASCUDO, 1994). Apesar de serem cloretos livres aqueles capazes de provocar a corrosão (em estruturas de concreto armado e comprometer componentes construtivos), é conveniente determinar o teor de cloretos totais, uma vez que partes dos cloretos combinados podem ficar disponíveis devido aos efeitos como a carbonatação e a elevação da temperatura (MOHAMMED & HAMADA, 2003). Nos revestimentos de argamassas o íon cloreto pode ou não ficar preso nos poros da massa, cristalizar-se e gerar manifestações patológicas no revestimento.

A penetração do íon cloreto só é possível quando há água nos poros. Se a água está estagnada, o deslocamento dos íons cloreto se dá por difusão, quando há ciclos de molhagem e secagem, a penetração desses íons passa a ser por força capilar da água em que estão presentes. Um exemplo de penetração de íons cloreto por forças capilares é o que ocorre em zonas costeiras de clima quente, onde há névoa salina, que são gotículas de água contendo cloretos. Neste caso é importante conhecer a direção predominante do vento e a insolação, para análise do ataque desse meio ambiente ao material de construção (ANDRADE, 1992).

A argamassa possui alta taxa de porosidade e é suscetível à penetração de cloretos, sulfatos e outros sais solúveis. Comparando com o concreto a diferença está em que nos revestimentos argamassados os sais se solidificam formando eflorescências e criptoflorescências e nas estruturas de concreto armado destroem a película passivadora formada pelas reações químicas envoltas ao aço. A argamassa de saneamento tende a aprisionar cloretos com porosidade fechada (poros sem muita comunicação) impedindo a cristalização e o surgimento de manifestações patológicas nos revestimentos.

2.8 ARGAMASSAS DE SANEAMENTO

Para utilizar uma argamassa como reboco de recuperação em revestimentos deteriorados é necessário conhecer as propriedades e características da argamassa, assim como o substrato de aplicação. Traços não coerentes, técnicas inadequadas ou materiais errados ou ineficientes podem fazer como que o material não tenha semelhança com o original, o que pode levar a repulsão por parte do substrato. O ambiente de localização dessas construções (extremo sul do Estado do Rio Grande do Sul) não contribui para a eficácia dos revestimentos em argamassas, seja por ataque de cloretos e sulfatos ou ação da emissão do gás carbônico na atmosfera (resultado da queima de gases em áreas industriais). O ambiente de construção também é de suma importância para um desempenho adequado dos revestimentos em argamassas, mas quando o ambiente (e sua agressividade) não contribuem para o sucesso do processo é necessário descobrir materiais e técnicas capazes de minimizar, retardar ou eliminar essas patologias.

De acordo com Nunes (2022), no Brasil, a recuperação de edificações do patrimônio histórico e cultural, atacados por umidade e sais, é bastante comum serem feitos com rebocos tradicionais, visto a precariedade de outros processos. Pesquisadores da área, na maioria das vezes, buscam normas e regulamentações internacionais para recuperação de obras degradadas em função da umidade e sais solúveis como é o caso da Catedral de São Pedro que se utilizou de dados internacionais e do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) para elaborar e aplicar uma nova argamassa de saneamento na recuperação do reboco externo.

Na Alemanha e de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), na utilização de uma argamassa de saneamento para aplicação em edificações deterioradas por umidade e sais, é preciso que haja capacidade de retenção de água, em forma líquida, junto com os sais solúveis e uma grande permeabilidade ao vapor, permitir uma secagem eficiente e ser estanque como a argamassa de cimento, além de permeável ao vapor d’água como a argamassa de cal.

Segundo Arendt (1995) uma escolha criteriosa dos materiais constituintes da argamassa de recuperação deve ser feita. O aditivo a ser adicionado na mistura também deve ser capaz de hidro repelir, retendo os sais e fazendo com que o vapor de água seja liberado pela quantidade elevada de poros. Ainda, na Alemanha, nas

primeiras 24 horas de aplicação da argamassa de saneamento como reboco de recuperação é obrigatório à verificação da quantidade de água absorvida.

Na Alemanha é muito útil que as argamassas de saneamento sejam produzidas em usinas, garantindo as propriedades necessárias ao seu desempenho e serem compatíveis com aquelas que serão substituídas e com o substrato de aplicação do revestimento (NUNES, 2022).

Para atender as solicitações básicas de utilização uma argamassa de recuperação deve servir de depósito de instância de evaporação para a umidade existente na alvenaria e na superfície do reboco, além de possibilitar a absorção e cristalização dos sais dissolvidos na parede no interior do reboco, sem que seja danificado no processo (SEELEE; SCHULZE, 1998).

A medição da umidade e a verificação dos tipos de sais encontrados como íons cloreto, íons sulfato e íons nitrato, na alvenaria deteriorada, devem ser feitas com a finalidade de especificar os materiais que serão utilizados na argamassa de recuperação. Além disso, a argamassa antiga deve ser removida na área umedecida e no mínimo oitenta centímetros acima dessa região. As juntas de assentamento das alvenarias devem ser raspadas até uma profundidade de 2 a 3 cm, de modo que a maior quantidade de sal presente na alvenaria seja retirada (ARENDT, 1995).

Dias e Cunha (1997) determinaram o tamanho dos aglomerados que devem ter tamanhos de partículas que permitam que o reboco fique poroso sem perder a sua condição estrutural, sem esfarelar e sem fissurar durante o processo de cura. O Quadro 2.12 apresenta as dimensões de partículas dos aglomerados das argamassas de saneamento.

Quadro 2.12 – Dimensões de partículas dos aglomerados das argamassas de saneamento.

< 2,5 mm	2,5 mm ≥ X > 4,0 mm	≥ 4,0 mm
10 a 20 %	30 a 40 %	30 a 40 %

Fonte: Dias *et al* (1998).

Angelim *et al* (2003) mencionam que a distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia) influencia diretamente no desempenho da argamassa, fazendo com que haja menos trabalhabilidade, e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco.

Já no estado endurecido, exerce influência na fissuração, rugosidade, permeabilidade e na resistência mecânica.

Em conformidade com Nunes (2022), tem-se algumas vantagens na utilização das argamassas de saneamento como a secagem lenta, a auto recuperação do reboco, recuperação das fissuras pela velocidade lenta de solidificação e permeabilidade. E, como desvantagens tem-se menor capacidade de aderência, alta absorção de água, formação de capilares durante a secagem, baixa resistência nas idades iniciais e fissuração quando a secagem é acelerada.

A aderência pode ser melhorada com a utilização da escarificação das juntas de assentamento do substrato ou com a aplicação de chapisco em 50% da superfície a ser revestida. Como a cura dessa argamassa é lenta, é possível recuperar as fissuras iniciais umedecendo a superfície e corrigindo-as manualmente. Para diminuir a capacidade de absorção de água são utilizados aditivos como incorporador de ar, que propiciam um aumento da porosidade e diminuem os capilares, e hidrofugantes para repelir a umidade (NUNES, 2022).

Conhecer o substrato onde a argamassa de saneamento será aplicada também é essencial e isso indicará fatores correspondentes à finura do cimento, finura do aglomerante, o tipo e tamanho de partícula do agregado que possibilitarão a obtenção de rebocos de recuperação eficientes (NUNES, 2022). O conhecimento acerca do substrato de aplicação de uma argamassa de saneamento para recuperação de prédios deteriorados também é de suma importância para que não haja falta de compatibilidade entre os materiais. Geralmente, essas aplicações são realizadas em prédios com muito tempo de construção, logo é preciso que haja a maior compatibilidade possível entre o revestimento antigo e o revestimento novo a ser aplicado.

Segundo Nappi e Tonera (1997), na Alemanha, as argamassas de saneamento são usinadas e apresentam uma variedade de traços para as mais diversas aplicações mantendo as características fundamentais de porosidade e permeabilidade ao vapor d’água. Também é um tipo de argamassa que já se utiliza há mais de 50 anos e é referência na eficiência de rebocos de recuperação de restauração de revestimentos de prédios históricos e na construção civil em geral.

2.8.1 Propriedades das argamassas de saneamento estrangeiras

A pesquisa foi baseada nas informações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) para elaboração da argamassa de saneamento e seu estudo, por isso apresentam-se suas descrições que nortearam proposta.

A composição da argamassa de saneamento para um revestimento de recuperação, de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), deve apresentar aglomerante (cimento Portland com eventual adição de cimento branco), carga (pó de calcário, eventualmente pó de quartzo), inertes (areia quartzosa com granulometria escalonada), agregados leves (pedras pomes, poliestireno expandido ou vidro expandido (perlita)), aditivo (metilcelulose para aumentar a capacidade de retenção de água), aditivo hidrofugante (aproximadamente 2,5% de estearatos de zinco, sódio ou chumbo) e aditivo incorporador de ar (1% da massa de cimento de elementos tensálicos, por exemplo, acrilsulfonatos de sódio, sulfonatos alquídicos com ligações de sílica inorgânica).

Deve ser utilizado no sistema de reboco de recuperação chapisco, emboço e reboco com as seguintes características (Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91, 1995):

O chapisco deve ser uma mistura fluída de cimento e areia que serve de ponte de aderência mecânica. 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 da argamassa 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 d’agua passe da alvenaria para o revestimento, por ser o chapisco compacto nesse caso (DIN 18550, 1985).

O reboco base WTA (1995) é aplicado como camada regularizadora do substrato ou como depósito de sais do substrato. O reboco base é uma camada de nivelamento, mais barata, utilizada quando a superfície da alvenaria apresentar diferenças de planicidade que exijam camadas de reboco superior a 30 mm de espessura, ou se a alvenaria estiver fortemente contaminada por sais. Essa camada deve 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. Essa camada tem a finalidade de proteger, nas primeiras

idades, a argamassa de saneamento da contaminação dos sais presentes (Arendt, 1995).

A argamassa de saneamento mais comum é à base de cal aérea que reage através da carbonatação por dióxido de carbono do ar, propiciando uma maior formação de poros ao longo de seu endurecimento e uma cura lenta que possibilita a recuperação de possíveis fissuras formadas durante a sua aplicação (NUNES, 2022).

2.8.1.1 Trabalhabilidade e consistência

Segundo Nunes (2022) uma boa trabalhabilidade é quando a argamassa adere bem na colher de pedreiro, desliza sem dificuldade e adere bem nas superfícies verticais das paredes. Sendo assim, ela deve permanecer plástica pelo tempo necessário para os ajustes de alinhamento, prumo e nível das unidades de aplicação.

Na Alemanha a trabalhabilidade é caracterizada pela consistência. A consistência é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas. Também é chamada de fluidez e depende do teor da água de amassamento e do teor de ar incorporado. A consistência pode variar de acordo com o tipo e a proporção dos aglomerantes e da superfície específica dos materiais empregados (BINACHIN, 1999).

A DIN 18555 determina o ensaio de trabalhabilidade e consistência conforme o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). No ensaio o molde tronco/cônico e o tampo da mesa de consistência são previamente umedecidos. Esse 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 com 10 golpes com o uso de soquetes. O excesso da argamassa deve ser retirado, bem como as partículas do material que se encontram ao redor 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 3 cm, a trabalhabilidade é adequada.

No Brasil a trabalhabilidade da argamassa é determinada pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Para consistência da argamassa é utilizado também a NBR 13276 (ABNT, 1995). A norma especifica que o índice padrão das argamassas de revestimentos é 255 $\pm$ 10 mm, medida obtida após 30 golpes aplicados na mesa de

consistência em 30 segundos sobre a qual está o molde tronco/cônico centralizado sobre um tampo da mesa.

2.8.1.2 A plasticidade

Nunes (2022) aponta que a plasticidade da argamassa é uma propriedade que também expressa a trabalhabilidade. É definida como a propriedade de tendência a manter sua deformação sem se romper após a eliminação do esforço. Depende da natureza e do teor dos aglomerantes, do teor de ar e do vigor que foi realizada a mistura da argamassa.

Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), a consistência de 2 $\pm$ 5 mm, orientando-se pela norma alemã DIN 18555, obtida com 15 golpes em 15 segundos aplicados na mesa de consistência, sobre a qual está o molde tronco/cônico centralizado sobre o tampo da mesa. Mas, Bianchin (1999) aponta que este valor não pode ser tomado como referência, pois no Brasil a aplicação é manual e na Alemanha é mecânica.

No Brasil, a plasticidade da argamassa é determinada pela norma brasileira NBR 13276 (ABNT, 1995).

2.8.1.3 Retenção de água

A capacidade da argamassa de manter sua consistência ou trabalhabilidade enquanto é submetida a esforços que provocam a perda de água como o processo de evaporação, absorção e sucção do substrato, no estado fresco, é determinado de índice de retenção de água (CINCOTTO *et al.*, 1995).

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) determina que o ensaio para a determinação da retenção de água em argamassas de saneamento obedeça às recomendações da DIN 18555. A DIN 18555 especifica que sejam feitas medidas da massa de água retida após sucção feita com papéis filtrantes colocados sobre a argamassa por 5 minutos. Esse valor deve ficar acima de 85%.

No Brasil, o ensaio para determinação da retenção de água em argamassas é determinado pela norma brasileira NBR 13277 (ABNT, 1995).

2.8.1.4 Teor de ar incorporado

O aditivo incorporador de ar melhora a plasticidade das argamassas por reduzir o teor de água utilizado na mistura. Com isso há uma melhora na trabalhabilidade porque o ar incorporado atua como lubrificante entre os grãos (MATTOS, 2018). A adesão inicial nas argamassas também é melhorada com a utilização de aditivos incorporadores de ar, a não ser que seja colocada em excesso, onde a aderência fica comprometida.

Para o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), o incorporador de ar adicionado não pode ser maior que 25% nos rebocos de recuperação.

No Brasil, a incorporação de ar em argamassas frescas pode ser determinada por um aparelho de pressão, método pressométrico e pela massa específica do material, método gravimétrico, normatizado pela NBR 13278 (ABNT, 1995).

2.8.1.5 Massa específica

De acordo com Bianchin (1999) a massa específica de uma argamassa de recuperação influencia na trabalhabilidade e consistência. Quando a massa específica diminui, aumenta-se o teor de ar incorporado às argamassas que se tornam mais leves e mais trabalháveis.

Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), não é recomendado um valor da massa específica das argamassas no estado fresco para os rebocos de recuperação.

No Brasil, o ensaio, no estado fresco, para determinação da massa específica das argamassas em geral é feito de acordo com a norma brasileira NBR 13279 (ABNT, 1995).

2.8.1.6 Resistência mecânica

A resistência mecânica das argamassas de revestimentos é a capacidade que a argamassa tem em resistir às tensões de tração, compressão ou cisalhamento (CINCOTTO *et al*, 1995).

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) recomenda apenas que a resistência a compressão para as argamassas de saneamento deve ficar entre 1,0 e 5 Mega Pascal (MPa).

No Brasil a resistência mecânica à compressão das argamassas de revestimentos é determinada pela NBR 13279 (ABNT, 1995).

2.8.1.7 Difusão de vapor

O coeficiente de difusão de vapor de água é o grau de dificuldade encontrado 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 (ARENDT, 1995).

Para o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), o coeficiente de resistência à difusão do vapor de água deve ficar abaixo de 12 para argamassas de saneamento.

No Brasil não existe nenhuma normatização para que seja verificada a difusão ao vapor de água em revestimentos de argamassa.

2.8.1.8 Resistência à passagem dos sais

A resistência à passagem dos sais, ataques por cloretos, sulfatos e nitratos deriva da composição da argamassa, da natureza dos materiais empregados, da resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade das argamassas e dos materiais a ela adjacentes (GUIMARÃES, 1994).

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) define que a determinação da resistência à passagem dos sais deve seguir as recomendações da norma alemã DIN 18555. O ensaio é feito com corpos de prova em contato com uma solução salina, onde se a argamassa de saneamento não for atravessada pela solução é considerada aprovada após 10 dias.

No Brasil, não existe nenhuma normatização para determinação da resistência à passagem dos sais em argamassas.

2.8.2 O desenvolvimento de pesquisas com argamassas de saneamento

Segundo Nunes (2022) ainda há poucas pesquisas com rebocos de recuperação em alvenarias com salinidade e umidade elevada, principalmente em áreas de regiões costeira e portuária onde a concentração de sais solúveis é maior. Um dos estudos pioneiros com argamassas de saneamento foi o que integrou um projeto iniciado em 1994, no Rio Grande do Sul por iniciativa da 12ª CR/IPHAN/RS e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, com testes na Catedral de São Pedro em Rio Grande e no Mercado Público de Porto Alegre.

Em 1995, no Quartel da Tropa da Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim, Florianópolis, SC a 11ª CR/IPHAN/SC, em cooperação internacional do Governo da Alemanha, o Institut Für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung – IGS, de Munique e do Forschungszentrum Geesthacht – GKSS também da Alemanha reunia condições técnicas, geográficas e climáticas ideais para o desenvolvimento da pesquisa, dispondo de várias superfícies livres para testes por um período de tempo longo, fazendo retirada de amostras em diferentes alturas e profundidades para estudos em laboratório.

Em 1999, Bianchin (1999) elaborou uma argamassa de recuperação para alvenarias degradadas por sais e umidade que atendesse as recomendações alemãs (WTA 2-2-91, 1995). As argamassas estudadas, com dois tipos de traços diferentes, foram analisadas no estado fresco (índice consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água) e no estado endurecido (absorção de água por imersão e capilar, densidade de massa, porosidade, resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, resistência aos sais e coeficiente de resistência à difusão de vapor). Concluiu que para todas as propriedades analisadas houve a influência do aditivo incorporador de ar, do aditivo hidrofugante e do traço e que, em quase todas as argamassas, houve a influência de um aditivo sobre o outro, mostrando a interação destas variáveis (incorporador de ar e hidrofugante) entre si. Com isso afirmou que é possível desenvolver uma argamassa com a finalidade de dessalinizar edificações contaminadas por sais solúveis e umidade utilizando materiais nacionais.

Em 2002, Nappi (2002) pesquisou sobre a degradação provocada por sais em diferentes tipos de argamassas. Argamassas com cal hidratada e areia fina (traço 1:3), argamassa com cimento, cal hidratada e areia fina (traço 1:2:8), argamassa pré-

misturada, produzida na Alemanha, de composição desconhecida e utilizada como emboço, nos experimentos da Fortaleza de Santa Cruz, na ilha de Anhatomirim, argamassa alemã RAJASIL, que obteve o melhor desempenho entre os rebocos aplicados na Fortaleza e uma argamassa confeccionada no Laboratório de Tecnologia do Restauro (LabRestauro) da Universidade Federal de Santa Catarina, sendo o traço composto por 22 gramas de cimento, 88 gramas de cal hidratada, 330 gramas de areia, 90 centímetros cúbicos de poliestireno expandido com diâmetro inferior a 1,2 mm, 1,0 grama de hidroxietil celulose HEC e 2,2 gramas de estearato de cálcio. Com as cinco argamassas foram produzidos corpos de prova cilíndricos (5 x 10) cm, em número de 3 para cada tipo de argamassa, que ficaram armazenados durante 45 dias para que se realizassem as principais reações químicas, e, também, executados emboços em alvenarias. Após a cura, os corpos de prova foram submetidos a uma umidificação com uma solução conjunta de cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio, respectivamente usadas nas quantidades de 35g, 15g e 5g, para cada litro de água, conforme indicação do item 5.3.9 do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). Passado o período de testes, verificou-se grande deterioração nas argamassas de cal hidratada e areia fina e de cimento, cal hidratada e areia fina (as mais utilizadas na prática em construções convencionais), ocasionados pelos altos níveis de concentração de sal. Entretanto, no emboço, onde o nível de concentração foi muito maior, na argamassa alemã não houve qualquer dano porque este material é próprio para resistir à ação dos sais higroscópicos. A argamassa alemã RAJASIL também apresentou um bom comportamento. Quanto a argamassa produzida no LabRestauro, observou-se que não houve identificação de degradação o que a colocou no mesmo nível de qualidade da argamassa alemã.

Em 2004, Gewehr (2004), com as sugestões de Bianchin (1999) e as orientações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), analisou as propriedades no estado fresco e endurecido de uma argamassa de cimento, pasta de cal, areia seca, nos traços 1:2:9 sem e com aditivo e 1:1:6 sem e com aditivo. Os percentuais de aditivos utilizados foram 1% de incorporador de ar e 2% de hidrofugante medidos sobre a massa de cimento. As argamassas foram aplicadas na casa do Dr. Annes Dias, localizada na Avenida João Pessoa, em Porto Alegre, RS. A aplicação ocorreu em forma de quatro painéis no tamanho de 50 x 50 cm no porão do prédio histórico, tomando-se o cuidado de remover o reboco existente até a alvenaria. Foi feito um chapisco de cimento e areia, traço 1:3, de forma que cobrisse 50% da área de

alvenaria onde seria aplicada a argamassa de saneamento. O chapisco foi aplicado de forma reticulada, formando uma ponte de aderência entre a alvenaria e a argamassa de saneamento. No painel onde foi aplicada a argamassa convencional, o chapisco foi feito em 100% do substrato, como normalmente ocorre em obras. Os quatro painéis, contendo as argamassas convencionais e as argamassas de saneamento, foram monitorados, avaliando-se o seu desempenho através dos ensaios de salinidade após oito meses após de aplicação no porão da casa. Passado o período de exposição, em todos os traços observou-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 1:2:6S (S=argamassa de saneamento), com os aditivos. Já no traço 1:1:6, sem aditivos, a incidência de sulfatos é menor do que no traço 1:1:6S, com aditivos. Para este tempo de oito meses 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 na sua camada. 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 e o aprisionamento dos sais no interior da camada.

Ainda em 2004, Posser (2004) desenvolveu uma argamassa de reboco de recuperação utilizando materiais disponíveis no mercado nacional e as prescrições do Caderno de Recomendações Alemão (1995). Utilizou proporções de materiais, em massas, variando entre 1:0,1:3,85 e 1:1,1:7,35, sendo que a relação aglomerante/agregado foi fixada em 1:3,5, utilizadas pelas indústrias alemãs de argamassas de reboco de recuperação. Foram feitas 26 diferentes proporções de materiais variando a relação cal/cimento entre 1,27 e 1,93, os teores de aditivo incorporador de ar entre 0,3 e 1,0%, aditivo hidrofugante entre 0,4 e 1,2% e aditivo retentor de água entre 0,4 e 1,2%, em massa, em relação à massa de cimento, estes intervalos compreendem aos teores utilizados pelas indústrias alemãs de argamassas de reboco de recuperação. Nas argamassas foram analisadas propriedades no estado fresco (índice de consistência, trabalhabilidade, teor de ar incorporado, massa específica e retenção de água) e no estado endurecido (resistência à compressão, resistência à tração na flexão, absorção de água por capilaridade, altura de penetração de água, massa específica, absorção por imersão, porosidade, resistência aos sais e coeficiente de resistência a difusão de vapor). Os resultados obtidos indicaram que a argamassa com o traço 1:0,60:5,60 (cimento Portland pozolânico: cal hidratada:

agregado miúdo), sendo o agregado miúdo composto por 94% de areia quartzosa e 6% de agregado leve (vermiculita expandida), e teores de aditivo incorporado de ar de 1,0%, teor de hidrofugante de 1,0% e 0,8% de retentor de água, foi a que apresentou o melhor desempenho, possivelmente, devido a elevada porosidade que foi superior a 40%, podendo ser utilizada como reboco de recuperação para o saneamento de edificações contaminadas por umidade e sais solúveis.

Em 2013, Loureiro (2013), em sua pesquisa, identificou, caracterizou e amenizou a eflorescência salina em seu estudo de caso da alvenaria do transepto direito da Igreja de Santo Alexandre, em Belém, PA. Utilizou-se de técnicas laboratoriais com o intuito de entender as condicionantes favoráveis ao processo de eflorescência salina, os danos provocados aos materiais, os tipos de sais mais atuantes e quais materiais seriam mais eficientes para a dessalinização. Duas argamassas possuíram resultados satisfatórios. Uma argamassa composta por bentonita e areia na proporção de 1:1 incorporou o sódio proveniente da halita (NaCl), e a outra argamassa composta por caulim e areia na proporção 1:1 se mostrou eficaz na retirada do nitrato da alvenaria.

Em 2022, em sua pesquisa, Nunes (2022) Identificou os principais pontos críticos de umidade no revestimento de argamassa externo das fachadas do prédio da Catedral de São Pedro na cidade de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul e determinou o percentual de retenção de íons cloreto nas amostras extraídas da argamassa de saneamento aplicada há 25 anos, além de ter analisado mineralogicamente e quimicamente as amostras visando a observação da presença dos constituintes originais da argamassa. Nunes (2022) comprovou a integridade e a funcionalidade da argamassa de saneamento em função dos 25 anos de aplicação do revestimento destinado a recuperação de prédios históricos, que atuou de forma eficaz na retenção dos sais no interior dos seus poros. Observou também que ocorreu deslocamento de sais solúveis no interior do reboco de argamassa de saneamento e que não há deslocamento desses sais para a superfície. Está condição se justifica devido ao elevado índice de vazios identificado na argamassa de saneamento aplicada. Quanto à mineralogia da argamassa de saneamento, as estruturas cristalinas dos principais constituintes da argamassa (areia, calcário, cimento, cinzas de carvão mineral e cal) se mostraram inalteradas, indicando que a presença dos sais cloretos e cloretos livres não degradou o revestimento. Concluiu também que é possível a obtenção de uma argamassa de saneamento produzida com matérias-primas

nacionais, com propriedades de barreira ao deslocamento de sais similares as das argamassas estrangeiras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Rio Grande, no Estado do Rio Grande do Sul, em parceria com o Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

A argamassa de saneamento utilizada foi aplicada no prédio da Catedral de São Pedro na cidade de Rio Grande, no período de 1995 a 1996. Nesse período passou por uma intervenção no qual foram restaurados os revestimentos, externo e interno. Esse traço da argamassa de saneamento foi desenvolvido pelos professores Claudio Renato Rodrigues Dias e Ronaldo Ortiz Cunha, no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) em cooperação com o governo da Alemanha, através do *Institut Für Gebaude analyse und Sanierungsplanung* (*IGS*). A argamassa tinha por finalidade, no prédio histórico, atuar como uma barreira física capaz de reter a migração de sais de cloreto, ocasionada pela constante presença de umidade nas paredes, e visando a obtenção de um produto nacional para a recuperação de revestimentos de prédios históricos com propriedades similares as de produtos internacionais, como as argamassas de saneamento alemãs (NUNES, 2022).

Ainda conforme Nunes (2023) a argamassa de saneamento utilizada foi confeccionada com cimento Portland CPIV, cal hidratada, cinza de carvão mineral, areia quartzosa, areia calcária, aditivo incorporador de ar e água. A dosagem do traço seguiu parâmetros oriundos de argamassas de recuperação provenientes da Alemanha e nela foram feitos ensaios físicos e mecânicos de acordo com as normativas brasileiras. Após a aplicação da argamassa, passaram-se 25 anos sem nenhuma intervenção feita nesse reboco até o ano de 2022.

Com isso, e o passar dos anos de exposição às intempéries e a atmosfera marinha da região, Nunes (2022) em uma análise visual constatou que os revestimentos da Catedral se apresentavam em boas condições de uso e sem manifestações patológicas visíveis. Sendo assim, e seguindo a metodologia de desenvolvimento da argamassa de saneamento analisada por Nunes (2022), despertou-se o interesse no desenvolvimento da pesquisa apresentada nessa tese que procurou analisar o comportamento dessa argamassa de saneamento em substrato altamente contaminado com cloretos, sulfatos e nitratos, dando ênfase ao principal sal, os cloretos, para comprovar a obtenção de uma argamassa de saneamento nacional para, além do uso no restauro de revestimentos antigos também seja aplicada em

obras comuns e convencionais em ambientes de atmosfera marinha, regiões costeiras e portuárias.

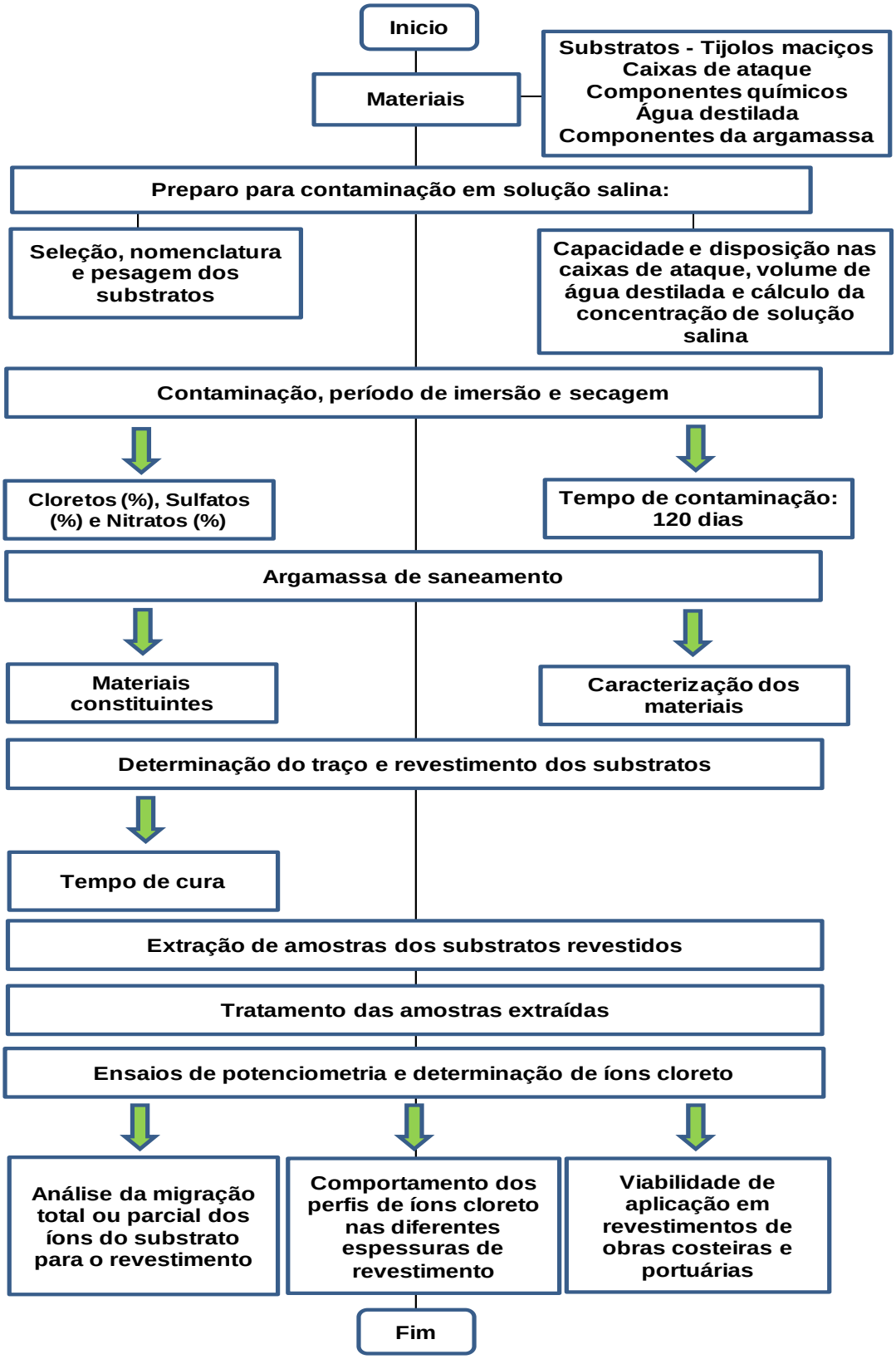
O desenvolvimento experimental deste estudo deu-se a aplicar um traço de argamassa de saneamento em substratos de tijolos maciços para aplicação em obras convencionais, sendo esses substratos vendidos em lojas de materiais de construção civil comuns da cidade de Rio Grande, a fim de confeccioná-los em diferentes espessuras de revestimentos. O ataque com solução de íons cloreto, íons sulfato e íons nitrato de sódio em substratos de alvenaria de tijolos maciço por 120 dias e um processo de cura, em ambiente aberto, por 245 dias, a separação dos substratos, a montagem da estrutura de ataque, o ataque dos substratos em solução altamente salina de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), a separação dos materiais constituintes da argamassa, a caracterização dos materiais, a dosagem do traço da argamassa de saneamento, o revestimento das amostras para diferentes espessuras de revestimentos, os devidos testes e a análise de dados foram realizados no Laboratório de Geotecnia e Concreto da FURG.

Com relação a argamassa de saneamento, utilizada para recuperação de um prédio histórico da cidade de Rio Grande, além das normas nacionais e internacionais, principalmente o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) para produção de argamassas de saneamento, usaram-se métodos e procedimentos devidamente fundamentados nas referências bibliográficas.

Mattos (2018) salienta que as normas brasileiras se referem à caracterização de argamassas com base em outros ligantes, como por exemplo, o cimento, não tendo especificação para argamassas de cal aérea e hidráulica. Do mesmo modo, quando a argamassa se destina ao reparo de prédios históricos deteriorados não há informações de procedimentos normalizados do emprego de uma determinada argamassa para uma condição de serviço especifica.

Logo, a pesquisa desenvolvida nessa tese foi norteada com procedimentos mencionados nas normas nacionais, internacionais e referências bibliográficas de procedimentos não normalizados. O fluxograma de desenvolvimento da pesquisa ilustra o passo a passo do trabalho desde a aquisição dos materiais constituintes da argamassa de saneamento, passando por uma longa metodologia até atingir os objetivos determinados (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Fluxograma da parte experimental da pesquisa.



Fonte: Autor.

3.1 MATERIAIS E O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1.1 Os materiais adquiridos

Para o começo da pesquisa foi necessário adquirir no mercado local e intermunicipal os seguintes materiais: os substratos que serviram de base para o revestimento de argamassa (tijolos maciços), caixas organizadoras transparentes (para imersão dos substratos em solução salina de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) e para monitoramento do nível da solução no período de tempo estipulado), cloreto de sódio em cristais, sulfato de sódio em cristais e nitrato de sódio em cristais, areia quartzosa, calcário dolomítico, cimento CP IV – RS 32, cal hidratada, cinzas de carvão mineral da termoelétrica de Candiota, incorporador de ar e água destilada.

3.1.2 O preparo para contaminação em solução salina

Foram adquiridos mais de 60 substratos no mercado local para o desenvolvimento do estudo, entretanto devido alguns destes apresentarem imperfeições fez-se uma seleção visual criteriosa dos que continham as melhores condições de qualidade para serem atacadas em solução salina e posteriormente revestidas com a argamassa de saneamento. Das 60 amostras adquiridas decidiu-se utilizar 40 delas, ou seja, 40 foram submetidas às caixas de ataque em solução salina. Os substratos foram numerados de 1 a 40, ficando a nomenclatura das amostras como sendo de T1 a T40 conforme apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Nomenclatura dos substratos de tijolo maciço.

Fonte: Autor.

Os substratos foram pesados tanto no estado seco (antes da contaminação com o composto de sais) como no estado saturado, aos 120 dias de contaminação em solução altamente salina de acordo com o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Pesagem dos substratos no estado seco e saturado.

Pesagem dos substratos			
CP'S	**Peso seco (g)**	**Peso saturado (g)**	**Diferença (g)**
T1	1774,20	1879,00	104,80
T2	1737,60	1897,60	160,00
T3	1730,70	1894,10	163,40
T4	1882,00	2071,00	189,00
T5	1788,50	1915,60	127,10
T6	1852,20	2009,20	157,00
T7	1819,70	2000,30	180,60
T8	1911,20	2101,00	189,80
T9	1812,50	1998,70	186,20
T10	1783,90	1983,20	199,30
T11	1866,60	2055,00	188,40
T12	1865,00	2050,10	185,10
T13	1788,20	1900,90	112,70
T14	1837,50	1999,90	162,40
T15	1818,20	2005,80	187,60
T16	1761,60	1880,50	118,90
T17	1869,30	2045,00	175,70
T18	1781,50	1890,00	108,50
T19	1848,10	2060,00	211,90
T20	1746,40	1875,00	128,60
T21	1833,90	2010,00	176,10
T22	1791,90	2005,00	213,10
T23	1813,50	2030,00	216,50
T24	1801,60	2000,00	198,40
T25	1778,20	2000,00	221,80
T26	1859,00	2035,40	176,40
T27	1666,90	2000,00	333,10
T28	1771,50	1961,00	189,50
T29	1697,20	1928,30	231,10
T30	1813,90	2038,00	224,10
T31	1779,00	2009,50	230,50
T32	1749,10	1974,70	225,60
T33	1716,00	1925,10	209,10
T34	1880,00	2070,10	190,10
T35	1869,30	2031,80	162,50
T36	1765,00	1972,00	207,00
T37	1830,40	2015,00	184,60
T38	1838,60	2076,90	238,30
T39	1753,00	1982,40	229,40
T40	1753,00	1958,10	205,10

Fonte: Autor.

Foi necessário testar a capacidade e a disposição dos substratos nas caixas organizadoras de ataque a fim de que todos pudessem ser envolvidos pela solução salina em todas as faces. As caixas organizadoras de ataque foram transparentes com a intenção de monitorar a redução do volume de solução por absorção das amostras, sendo três caixas organizadoras de 29 litros e uma de 50 litros. Tentando buscar a melhor disposição das amostras no interior das caixas organizadoras utilizaram-se tampas de garrafas pet para separá-las, de modo que fossem totalmente saturadas em solução, por ambos os lados, em cima e em baixo (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Disposição dos substratos no interior das caixas.

Fonte: Autor.

O teste de capacidade e disposição foi feito com amostras controle (não utilizadas) e água da concessionária local. Nas caixas organizadoras de 29 litros couberam nove amostras cada (em fileiras de três substratos) (Figura 3.4) e na caixa de 50 litros couberam 13 amostras, totalizando os 40 substratos em solução salina.

Com o objetivo de se conseguir a imersão total dos substratos de tijolos maciços obteve-se que nas caixas de 29 litros seriam necessários 18 litros de solução altamente salina cada. E, na caixa organizadora de 50 litros, foram necessários 26 litros de solução altamente salina. A base da solução é a água destilada, portanto foi necessário destilar a quantidade de 80 litros de água para elaborar a concentração de solução salina que foi utilizada para o ataque dos substratos de tijolos maciços.

Figura 3.4 – Fileiras de substratos nas caixas organizadoras de ataque.

Fonte: Autor.

O cálculo da concentração da solução altamente salina para imersão dos substratos de tijolos maciços foi feito de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). Os produtos químicos utilizados para a elaboração da concentração da solução salina de ataque foram o cloreto de sódio, o nitrato de sódio e o sulfato de sódio, todos em formas de cristais de sais, posteriormente moídos (Figura 3.5). Esses produtos químicos devidamente dosados de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) e água destilada formaram a solução salina de ataque dos substratos.

Figura 3.5 – Cloreto, nitrato e sulfato de sódio (solução salina de ataque).

Fonte: Autor.

O cloreto de sódio, o nitrato de sódio e o sulfato de sódio precisaram ser moídos manualmente, para eliminação das “pedras cristais”, tentando deixar os grãos de sais o mais uniforme possível para a diluição na solução salina. Para isso, utilizou-se um almofariz de porcelana e um pilão (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Moagem dos cristais de sais.

Fonte: Autor.

A concentração de cada elemento químico em relação a um litro de água destilada, para formação da solução salina, conforme o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). é a seguinte: 35 gramas (g) de cloreto de sódio, 15 g de nitrato de sódio e 5 g de sulfato de sódio. Portanto, para elaboração da solução salina para a caixa de 29 litros (o qual precisava de 18 litros de solução) foram colocados: 630 g de cloreto de sódio, 270 g de nitrato de sódio e 90 g de sulfato de sódio. Para elaboração da solução salina para a caixa de 50 litros (o qual precisava de 26 litros de solução) foram colocados: 910 g de cloreto de sódio, 390 g de nitrato de sódio e 130 g de sulfato de sódio.

3.1.3 Contaminação, período de imersão em solução e secagem

Na caixa número um, de 29 litros, contendo as amostras de T1 a T9, foram imersas em solução no dia 09/08/2021, permanecendo por 120 dias. Na caixa número

dois, de 29 litros, contendo as amostras de T10 a T18, foram imersas em solução no dia 12/08/2021, permanecendo por 120 dias (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Contaminação, período de imersão em solução e secagem.

Contaminação, período de imersão e secagem				
Concentração da solução	**Concentração da solução**		**Concentração da solução**	
Água destilada	**Para o volume de 29 litros**		**Para o volume de 50 litros**	
NaCl	9 amostras X 3 caixas		13 amostras X 1 caixa	
$NaNO_3$	Água destilada	18 Litros	Água destilada	26 Litros
$NaSO_4$	NaCl	630 Gramas	NaCl	910 Gramas
	$NaNO_3$	270 Gramas	$NaNO_3$	390 Gramas
35 gramas de NaCl p/ litro de água	$NaSO_4$	90 Gramas	$NaSO_4$	130 Gramas
15 gramas de $NaNO_3$ p/ litro de água				
5 gramas de $NaSO_4$ p/ litro de água	Amostras de T1 à T27		Amostras de T28 à T40	
	Caixa 1 - Ataque em: 09/08/2021		Caixa 4 - Ataque em: 24/09/2021	
	Caixa 2 - Ataque em: 12/08/2021			
	Caixa 3 - Ataque em: 02/09/2021			
Após a mistura de cada sal em água destilada, para a total diluição, foram feitas três agitações com pepita intercaladas de 15 minutos				
Todas as amostras de T1 à T40 permaneceram exatamente pelo período de 120 dias em ataque na solução salina				

Fonte: Autor.

Na caixa número três, de 29 litros, contendo as amostras de T19 a T27, foram imersas em solução no dia 02/09/2021, permanecendo por 120 dias. E, na caixa número quatro, de 50 litros, contendo as amostras de T28 a T40, foram imersas em solução no dia 24/09/2021, permanecendo por 120 dias. O Quadro 3.2 apresenta um resumo dos procedimentos da concentração dos produtos químicos utilizados na confecção da solução altamente salina e as respectivas datas de ataque do período de imersão por cada caixa com os substratos.

Após a retirada dos substratos de tijolos maciços, findo o período de imersão e contaminação nas caixas organizadoras, passados o prazo determinado de 120 dias, os substratos foram pesados (Quadro 3.1), para comparação da saturação com seu estado seco inicial anterior a contaminação. Logo em seguida foram colocados para secagem ao ar livre no pátio do Laboratório de Geotecnia e concreto da Universidade Federal do Rio Grande - FURG (Figura 3.7) pelo prazo de oito meses para todos os substratos de período de imersão de 120 dias.

Figura 3.7 – Secagem ao ar livre das amostras contaminadas.

Fonte: Autor.

Enquanto os substratos de tijolos maciços ficavam em processo de cura ao ar livre, por 245 dias, começou-se a separação dos materiais constituintes da argamassa de saneamento.

3.1.4 Materiais constituintes da argamassa de saneamento

Após os procedimentos iniciais de preparação dos substratos de tijolos maciços e sua respectiva contaminação em solução altamente salina começou-se o processo de aquisição e seleção dos agregados (areia e calcário), aglomerantes (cimento, cinza de carvão mineral e cal) e aditivos para a preparação do revestimento de argamassa de saneamento. Para compor o traço da argamassa de saneamento foi necessário adquirir 80 quilogramas de areia (adquirida em loja comercial de venda de materiais de construção civil) (Figura 3.8), 25 quilogramas de calcário dolomítico convencional (adquirido em loja comercial de venda agropecuária) (Figura. 3.8), 50 quilogramas de cimento CP IV – RS 32 (adquirido em loja comercial de venda de materiais de construção civil) (Figura 3.9), 20 quilogramas de cal hidráulica (adquirida em loja comercial de venda de materiais de construção civil) (Figura 3.9), 50 quilogramas de cinza de carvão mineral da termoelétrica de Candiota (fornecido pelo concreto

Schumann da cidade de Rio Grande RS) (Figura 3.9) e um litro de aditivo incorporador de ar (fornecido pelo Co-Orientador dessa pesquisa) (Figura 3.10).

Figura 3.8 – Agregados - Areia e calcário dolomítico.

Fonte: Autor.

A Figura 3.8 mostra o saco de areia adquirido antes do peneiramento dos grãos e uma caixa já com o peneiramento dos grãos realizados, assim como sua respectiva mistura, em percentual, de cada diâmetro máximo característico para compor o agregado miúdo do revestimento.

Figura 3.9 – Aglomerantes – Cimento, cinza de carvão mineral e cal.

Fonte: Autor.

A Figura 3.9 mostra da esquerda para a direita, o saco de cimento CP IV – RS 32, o saco de cinza de carvão mineral fornecido pela empresa Schumann e o saco de cal hidratada.

Figura 3.10 – Aditivo incorporador de ar.

Fonte: Autor.

O aditivo incorporador de ar utilizado na composição do traço da argamassa de saneamento desenvolvida foi da marca Plasmix M315 o qual foi acrescentado, à mistura da argamassa, 1% do aditivo incorporador de ar em relação à massa total de aglomerantes.

3.2 DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

Na formulação da argamassa de saneamento, desenvolvida para recuperação de prédios históricos na cidade do Rio Grande, para o revestimento dos substratos de tijolos maciços utilizou-se um traço 1:3, em peso, conforme Dias e Cunha (1997), de acordo com as recomendações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), onde 25% da proporção foram de aglomerantes e 75% de agregados. Os 25% de aglomerantes foram subdivididos nas seguintes proporções: um composto de mistura cinza (3,5%)-cal (1,5%), cimento (5%) e cal (15%). Os 75% de agregados foram subdivididos nas seguintes proporções: areia quartzosa (50%) e areia calcária (25%), ambos para atender ao Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). A relação água/cimento (a/c) ficou em 0,69 para que a consistência e a trabalhabilidade ficassem adequadas. E, por último, adicionado aditivo incorporador de ar na proporção de 1% em relação à massa total de aglomerante (conforme especificado no quadro 3.3).

Quadro 3.3 – O traço da argamassa de saneamento e o consumo de materiais.

TRAÇO DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO							
1:3 (m^3) 25%-75%							
ARGAMASSA DE SANEAMENTO	PROPORCIONALIDADE						
	AGLOMERANTES (25%)			AGREGADOS (75%)		ADITIVOS	RELAÇÃO a/c
	CINZA-CAL	CIMENTO	CAL	AREIA	CALCÁRIO	INCORPORADOR DE AR	
PERCENTUAL	3,5% - 1,5%	5%	15%	50%	25%	1% Relação massa de aglomerante	0,69
QUILOGRAMAS (Kg)	4,80 - 2,05	6,84	20,52	68,37	34,18	775,76 g	0,69
ARGAMASSEIRA (Kg)	108,96 - 46,54	155,26	465,80	1551,99	775,88	7,75 g	0,69

Fonte: Autor.

Na composição de agregado miúdo (areia) a ser utilizado no revestimento dos substratos foi preciso separar pequenas porções de areia, por inúmeras vezes, para secagem em forno a 100 °C pelo período de 24 horas conforme mostrado na Figura 3.11.

Figura 3.11 – Estufa de secagem do agregado miúdo.

Fonte: Autor.

O agregado miúdo utilizado foi de acordo com as curvas granulométricas das argamassas antigas mantendo a pretensão de obter um traço facilmente reproduzível com materiais encontrados localmente, economia em relação ao custo dos materiais e pensando no menor impacto ambiental.

Tanto na obtenção da areia quartzosa quanto na obtenção da areia calcária foram seguidas as curvas granulométricas de acordo com a classificação da série de Taylor (Série Normal) dentro da zona utilizável e de acordo com o retido acumulado de cada peneira. O peneiramento resultou em grãos de tamanhos de 2,4 milímetros (mm)

até 0,075 mm. Porém a zona de grãos utilizáveis para o traço da argamassa de saneamento foi de 2,4 mm a 0,15 mm.

Logo, para montar a composição do agregado miúdo de areia quartzosa a ser usado na formulação da argamassa de saneamento de revestimento foi necessário obter os percentuais retidos acumulados conforme apresentados no quadro 3.4.

Quadro 3.4 – Composição do agregado miúdo (areia quartzosa).

COMPOSIÇÃO AGREGADO MIÚDO		
AREIA QUARTZOSA		
PENEIRAMENTO (SÉRIE DE TAYLOR)		
RETIDO ACUMULADO (%)	PERCENTUAL UTILIZÁVEL (%)	ABERTURA (mm)
100-97	3	0,15
97-87	10	0,3
87-35	52	0,6
35-4	31	1,2
4-0	4	2,4

Fonte: Autor.

E, para compor o agregado miúdo de areia calcária (calcário dolomítico adquirido localmente) a ser usado na formulação da argamassa de saneamento para o revestimento dos substratos de tijolo maciço, foi necessário obter os percentuais retidos acumulados conforme apresentados no quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Composição do agregado miúdo (areia calcária).

COMPOSIÇÃO AGREGADO MIÚDO		
AREIA CALCÁRIA		
PENEIRAMENTO (SÉRIE DE TAYLOR)		
RETIDO ACUMULADO (%)	PERCENTUAL UTILIZÁVEL (%)	ABERTURA (mm)
100-97	3	0,15
97-87	10	0,3
87-35	52	0,6
35-4	31	1,2
4-0	4	2,4

Fonte: Autor.

Com isso pode-se obter a composição necessária dos agregados miúdos (areia quartzosa e calcária) que foram utilizados no traço da argamassa de saneamento para revestimento dos substratos de tijolos maciços.

O cimento, o composto cinza-cal, a cal, o aditivo incorporador de ar e a água foram somente adicionados à mistura sem nenhuma preparação como no caso do agregado miúdo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para elaboração da pesquisa foram caracterizados em sua forma natural e tanto no estado fresco como no estado endurecido (para a argamassa de saneamento utilizada no revestimento dos substratos de tijolo maciço). Devido à pandemia de COVID-19 ensaios de caracterização que tinham sido planejados para serem realizados, como o de porosidade e raio X, em outros laboratórios, não puderam ser realizados. Com isso, e devido ao tempo para conclusão da pesquisa realizaram-se os ensaios disponíveis no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande-FURG.

3.3.1 Caracterização dos materiais aglomerantes

Os materiais aglomerantes que foram ensaiados com a determinação da massa específica, para compor a mistura do traço da argamassa de saneamento a ser utilizada para revestimento dos substratos contaminados em solução altamente salina foram o composto aglomerante cinza-cal, a cal e o cimento Portland.

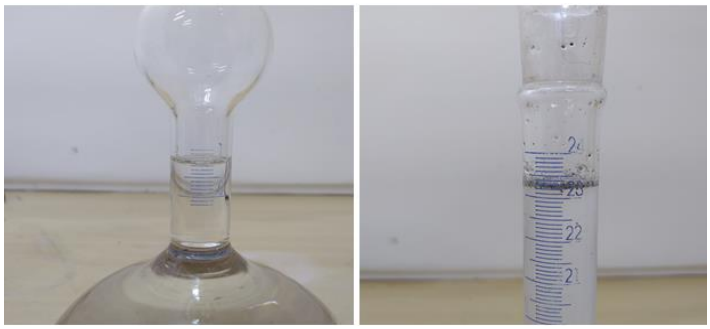
3.3.1.1 Massa específica do composto aglomerante cinza-cal

Para caracterização do composto aglomerante cinza-cal utilizado na argamassa de saneamento do revestimento dos substratos seguiu-se a norma ABNT NBR 16605 (2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

A massa específica do composto aglomerante cinza-cal foi determinada através da separação de uma amostra de 60 g do composto aglomerante do traço da argamassa de saneamento para ser ensaiado em tubo do tipo balão com solvente

através da diferença entre o volume final (Vf) e o volume inicial (Vi) da amostra (Figura 3.12).

Figura 3.12 – Massa específica do composto aglomerante cinza-cal.



Fonte: Autor.

Quando se foi realizar o ensaio (com a amostra pesada e separada em 60 g) de massa específica desse composto verificou-se que essa quantidade de material da amostra era superior ao necessário para determinar a massa específica, logo o peso da amostra utilizada ficou em 46,32 g.

3.3.1.2 Massa específica da cal

A massa específica da cal, assim como a do composto aglomerante cinza-cal, utilizada na composição da argamassa de saneamento do revestimento dos substratos foram determinadas conforme a norma ABNT NBR 16605 (2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Separou-se uma amostra do material de massa 45 g, para ser ensaiado em tubo do tipo balão, com solvente através da diferença entre o volume final (Vf) e o volume inicial (Vi) da amostra (Figura 3.13).

Figura 3.13 – Massa específica da cal.

Fonte: Autor.

Assim como para determinação da massa específica do composto aglomerante cinza-cal, separou-se uma amostra, inicialmente, de 60 g, porém ao longo do ensaio utilizou-se apenas o necessário de 45 g para realização do ensaio.

3.3.1.3 Massa específica do Cimento Portland

A massa específica do cimento Portland seguiu a norma ABNT NBR 16605 (2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Foi selecionada uma amostra de 60 g do material o qual foi ensaiado em tubo do tipo balão, com solvente através da diferença entre o volume final (Vf) e o volume inicial (Vi) da amostra (Figura 3.14).

Figura 3.14 – Massa específica do Cimento Portland.

Fonte: Autor.

3.3.2 Caracterização dos materiais agregados

Os materiais agregados que foram ensaiados com a determinação da massa específica, para compor a mistura do traço da argamassa de saneamento a ser utilizada para revestimento dos substratos contaminados em solução altamente salina foram a areia e o calcário dolomítico.

3.3.2.1 Massa específica do agregado miúdo

A determinação da massa específica do agregado miúdo, a areia, utilizada para composição do traço da argamassa de saneamento, foi realizada em laboratório pelo método do picnômetro (Figura 3.15).

Figura 3.15 – Massa específica do agregado miúdo.

Fonte: Autor.

O método é realizado através de um vidro transparente, na forma de balão, chamado de picnômetro. Separa-se uma massa da areia utilizada no traço da argamassa, cerca de 200 g, preenche-se o picnômetro com água e realizam-se as pesagens necessárias para aplicação na equação 3.1.

$$d = \frac{\text{ma}}{mpicH20 + ma - mpicH20a} \tag{3.1}$$

Onde:

d – massa específica da areia (g/cm³);
ma – massa da areia (g);
mpicH2O – massa do picnômetro+água (cm³);
mpicH20a – massa do picnômetro+água+areia (cm³).

3.3.2.2 Massa específica do calcário

A massa específica do agregado calcário, utilizado na composição da argamassa de saneamento do revestimento dos substratos, seguiu a norma ABNT NBR 16605 (2017) – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Foi selecionada uma amostra de 53,9 g do material o qual foi ensaiado em tubo do tipo balão, com solvente através da diferença entre o volume final (Vf) e o volume inicial (Vi) da amostra (Figura 3.16).

Figura 3.16 – Massa específica do calcário.

Fonte: Autor.

Com os resultados do volume inicial e volume final do ensaio utiliza-se a equação 3.2 para determinação da massa específica do agregado calcário.

$$dc = \frac{\text{mi}}{(Vf - Vi)} \tag{3.2}$$

Onde:

dc – massa específica da areia (g/cm³);
mi – massa inicial da amostra (g);
Vf – volume final (cm³);
Vi – volume inicial (cm³).

3.3.3 Caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco

Para caracterizar a argamassa de saneamento utilizada para o revestimento dos substratos de tijolos maciços contaminados no estado fresco contou-se com os ensaios característicos de determinação do índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado à mistura.

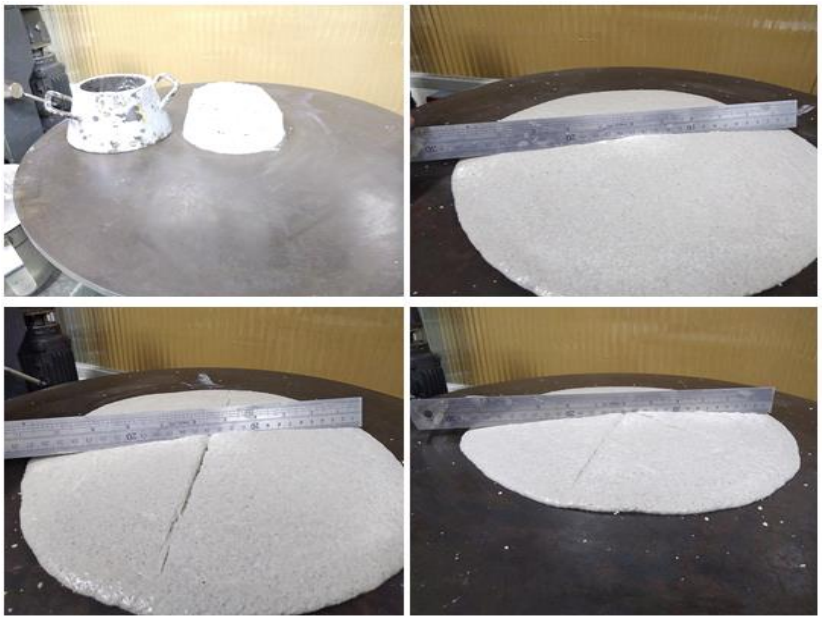
3.3.3.1 Determinação do índice de consistência

Para determinação do índice de consistência da argamassa de saneamento utilizada para revestimento dos substratos de tijolos maciços seguiu-se a norma ABNT

NBR 13276 (2016) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência.

Inicialmente, com o equipamento de feitura da mistura da argamassa de saneamento, a argamasseira, limpa e pronta para elaboração da composição da argamassa, realizou-se a mistura dos materiais constituintes da argamassa de saneamento através da seguinte forma: primeiramente, é colocado na argamasseira o composto de aglomerantes cinza-cal, o cimento Portland CP IV e a cal acrescida de 50% da água utilizada para formação da composição do traço. Passados 60 segundos (s) o misturador da argamasseira foi ligado em velocidade baixa por mais 60s. Desliga-se o aparelho misturador e em seguida, adiciona-se o agregado miúdo (areia) mais o agregado miúdo (calcário) acrescidos de mais 30% da água dosada para o traço da argamassa de saneamento. O misturador foi ligado por mais 60s em velocidade baixa. Desliga-se o aparelho misturador novamente e coloca-se o restante da água misturando em velocidade baixa por mais 60s. Por fim, no equipamento, foi adicionado o incorporador de ar e misturado por mais 60s. A massa ficou em repouso por 10 minutos e após foi misturada por mais 60s. Não foi utilizada velocidade alta, pois o material era jogado para fora da cuba. Moldou-se o tronco-cônico do ensaio com a argamassa no estado fresco e a colocou na mesa de consistência para determinação do índice de consistência da argamassa de saneamento (Figura 3.17).

Figura 3.17 – Realização do ensaio de determinação do índice de consistência.



Fonte: Autor.

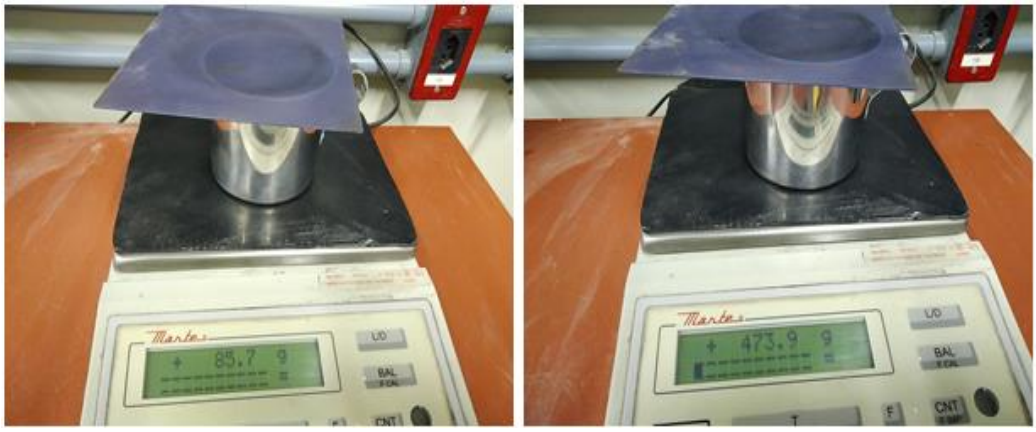
As imagens da argamassa de saneamento já espalhada na mesa de consistência foram medidas e obtidas após a realização de 30 quedas na mesa de consistência. As fotos do material espalhados na mesa de consistência são referentes às medidas 1, 2 e 3, respectivamente.

3.3.3.2 Determinação da densidade de massa

A determinação da densidade de massa da argamassa de saneamento seguiu a norma ABNT NBR 13278 (2016) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

O recipiente rígido e cilíndrico utilizado para determinação da densidade de massa da argamassa de saneamento possui volume de aproximadamente 400 cm³ conforme especificado pela norma. Também, placa de seção quadrada de 100 mm lado e espessura mínima de 3 mm. Para calcular o volume do recipiente obteve a massa (g) do recipiente vazio mais a tampa (mv) e a massa (g) do recipiente com água mais tampa (ma). Com a diferença entre as massas obteve-se o volume do recipiente (Vr) em cm³ (Figura 3.18).

Figura 3.18 – Determinação do volume do recipiente para a densidade de massa.



Fonte: Autor.

Colocou-se a argamassa em seu estado fresco com colher no recipiente cilíndrico de modo a formar três camadas aproximadamente iguais, sendo a cada uma delas aplicado 20 golpes ao longo do perímetro. Logo após, realizaram-se as três quedas do recipiente da altura de 3 cm. Obteve-se então a massa (g) do recipiente com argamassa (mc) e a massa (g) do recipiente vazio (mr) (Figura 3.19).

Figura 3.19 – Determinação da densidade de massa.

Fonte: Autor.

Sendo assim e através da equação 3.3 determinou-se o resultado da densidade de massa da argamassa de saneamento de revestimento para os substratos a serem analisados em Kg/m³.

$$d = \frac{\mathrm{mc} - \mathrm{mr}}{Vr} . 1000 \qquad (3.3)$$

Onde:

mc – massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;
mv – massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;
Vr – volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

3.3.3.3 Determinação do teor de ar incorporado

A determinação do teor de ar incorporado na composição da argamassa de saneamento para revestimento dos substratos de tijolo maciço contaminados em solução altamente salina seguiu a norma ABNT NBR 13278 (2016) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

Para calcular o teor de ar incorporado a mistura da argamassa de saneamento utilizaram-se as equações recomendadas pela norma (Equação 3.4 e Equação 3.5). A

equação 3.4 determina a densidade de massa teórica da argamassa e a equação 3.5 determina o percentual de ar incorporado à mistura da argamassa de saneamento.

$$dt = \frac{\Sigma \mathrm{mi}}{\Sigma(\frac{\mathrm{mi}}{\gamma \mathrm{i}})} \tag{3.4}$$

Onde:

dt – densidade de massa teórica (g/cm³);
mi – massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água (g);
γi – massa específica de cada componente da argamassa (g/cm³).

$$A = 100.\left(1 - \left(\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dt}}\right)\right) \tag{3.5}$$

Onde:

A – teor de ar incorporado (%);
d – densidade de massa da argamassa (g/cm³);
dt – densidade de massa teórica (g/cm³).

3.3.4 Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido

A caracterização da argamassa de saneamento utilizada para o revestimento dos substratos de tijolos maciços contaminados no estado endurecido contou com os ensaios característicos de resistência a tração na flexão, resistência à compressão axial, absorção de água por capilaridade e determinação do coeficiente de capilaridade, absorção, índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real.

3.3.4.1 Resistência à tração na flexão

Para determinar à resistência a tração na flexão da argamassa de saneamento seguiu-se a norma ABNT NBR 13279 (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão.

Para determinar à resistência a tração na flexão da argamassa de saneamento montaram-se três corpos de prova (CP's) com comprimento de 160 mm, o mesmo comprimento da distância entre os suportes do equipamento (Figura 3.20) e aplicaram-se as cargas até o rompimento dos CP's. Com isso e a aplicação a equação 3.6 determinou-se a resistência à tração na flexão, a resistência à tração na flexão média entre os três CP's e o desvio absoluto máximo (d.a.m) que é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta da média para mais ou para menos.

Figura 3.20 – Determinação da resistência à tração na flexão.

Fonte: Autor.

Quando o d.a.m for superior a 0,3 Mega Pascal (MPa) deve ser calculada uma nova média desconsiderando o valor discrepante.

$$Rf = (1{,}5 \text{ x } \mathrm{Ff} \text{ x } \mathrm{L})\ x\ 40^3 \tag{3.6}$$

Onde:

Rf – Resistência à tração na flexão (Mpa);
Ff – Carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);
L – distância entre os suportes (mm²).

3.3.4.2 Resistência à compressão axial

Para determinar a resistência à compressão axial da argamassa de saneamento seguiu-se a norma ABNT NBR 13279 (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão.

Na determinação da resistência a compressão axial montaram-se seis corpos de prova (CP's) com dimensões apropriadas ao encaixe no equipamento (Figura 3.21) e aplicaram-se as cargas até o rompimento dos CP's. Com o resultado máximo característico de compressão axial e a aplicação a equação 3.7 determinou-se a resistência à compressão axial nos CP's de argamassa de saneamento.

Figura 3.21 – Determinação da resistência à compressão axial.

Fonte: Autor.

O desvio absoluto máximo (d.a.m), que é a diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta da média para mais ou para menos, também foi obtido sendo que se o valor de 0,5 MPa for ultrapassado deve ser calculada uma nova média desconsiderando o valor discrepante.

$$Rc = \frac{\mathrm{Fc}}{1600} \tag{3.7}$$

Onde:

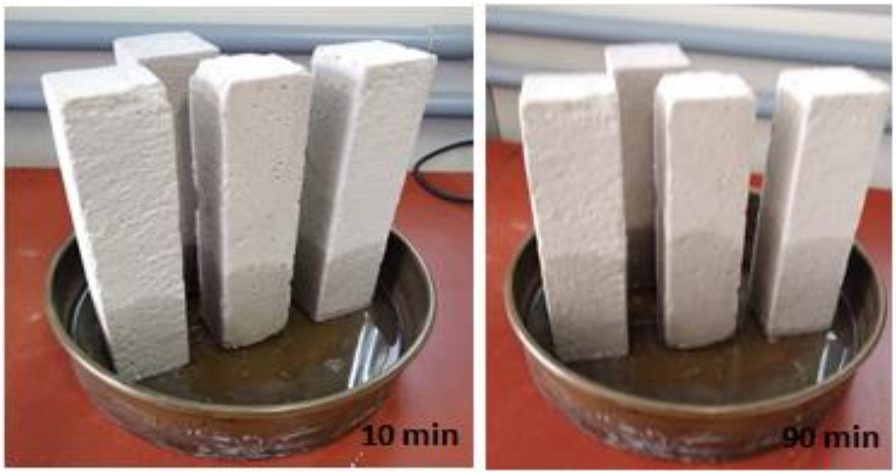
Rc – Resistência a compressão (MPa);
Fc – Carga máxima aplicada (N).

3.3.4.3 Absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade

Na determinação da absorção de água por capilaridade da argamassa de saneamento foi utilizada a recomendação da norma ABNT NBR 15259 (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

Foram quatro CP's prismáticos montados para realização do ensaio de absorção de água por capilaridade para cada tempo especificado, tempo de 10 minutos e tempo de 90 minutos em contato com a água (Figura 3.22).

Figura 3.22 – Determinação da absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autor.

Logo, para a determinação da absorção de água por capilaridade utilizou-se, após os resultados do ensaio para cada tempo especificado de 10 e 90 minutos, a equação 3.8 a seguir.

$$At = \frac{\mathrm{mt} - \mathrm{m0}}{16} \tag{3.8}$$

Onde:

At – absorção de água por capilaridade, em cada tempo (g/cm²);
mt – massa do CP em cada tempo (g);
m0 – massa inicial do CP (g).

Ainda, calcularam-se os coeficientes de absorção de água por capilaridade para cada CP, em cada tempo de 10 e 90 minutos. O coeficiente de absorção de água por capilaridade média relativa à quantidade de CP's e o desvio relativo máximo foram calculados através da equação 3.9.

$$C = \mathrm{m90} - \mathrm{m10} \tag{3.9}$$

Onde:

C – Coeficiente de absorção de água por capilaridade, em cada tempo (g/dm²xmin$^{1/2}$).

3.3.4.4 Absorção de água

Para determinar a absorção de água da argamassa de saneamento utilizou-se a recomendação da norma ABNT NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

As amostras de argamassa de saneamento foram colocadas em estufa por 72 horas após os 28 dias. Passado esse tempo elas foram retiradas e colocadas para

resfriamento natural. Então, foram pesadas e colocadas em imersão em água pelo período de 72 horas. Logo após ficaram em água fervente por 5 horas (Figura 3.23).

Figura 3.23 – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Fonte: Autor.

Posteriormente aos procedimentos regulamentados, com os resultados de massa saturada e massa seca das amostras de argamassa de saneamento, e através da equação 3.10, calculou-se a absorção de água do material.

$$A = \frac{\text{msat} - \text{ms}}{\text{ms}}\ x\ 100 \tag{3.10}$$

Onde:

msat – massa saturada da amostra;
ms – massa seca da amostra.

3.3.4.5 Índice de vazios

O índice de vazios da argamassa de saneamento seguiu a recomendação da norma ABNT NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, e foi calculado pela equação 3.11.

$$Iv = \frac{\text{msat} - \text{ms}}{\text{msat} - \text{mi}}\ x\ 100 \tag{3.11}$$

Onde:

mi – massa saturada imersa da amostra.

3.3.4.6 Massa específica da amostra seca

A massa específica da amostra seca de argamassa de saneamento seguiu a recomendação da norma ABNT NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, e foi calculada pela equação 3.12.

$$\rho s = \frac{\text{ms}}{\text{msat} - \text{mi}} \tag{3.12}$$

3.3.4.7 Massa específica da amostra saturada

A massa específica da amostra saturada de argamassa de saneamento seguiu a recomendação da norma ABNT NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, e foi calculada pela equação 3.13.

$$\rho sat = \frac{\text{msat}}{\text{msat} - \text{mi}} \tag{3.13}$$

3.3.4.8 Massa específica real

A massa específica real da amostra de argamassa de saneamento seguiu a recomendação da norma ABNT NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecidos

– Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, e foi calculada pela equação 3.14.

$$\rho r = \frac{\mathrm{ms}}{\mathrm{ms} - \mathrm{mi}} \tag{3.14}$$

3.4 REVESTIMENTO DOS SUBSTRATOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO

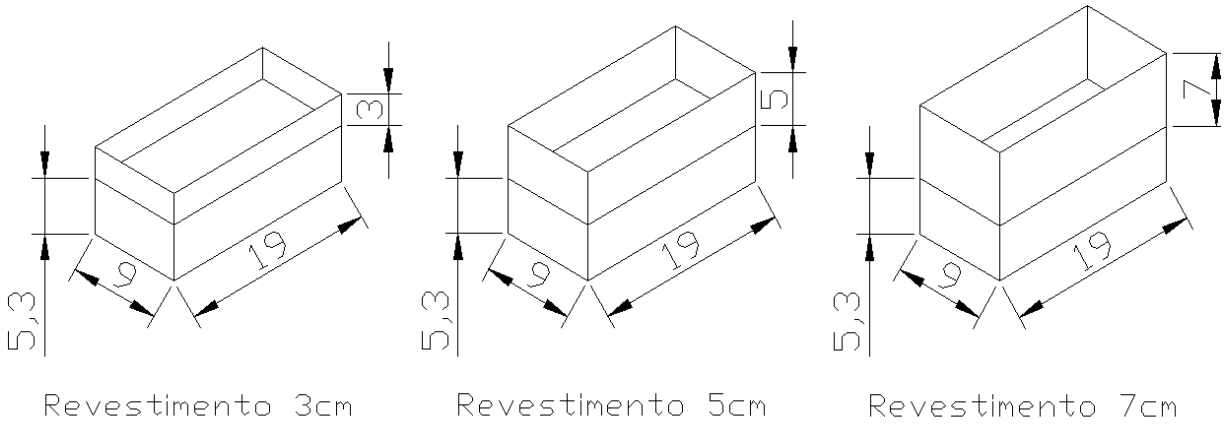
Após a definição do traço, a caracterização dos materiais aglomerantes e materiais agregados, a caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco, a caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido e a determinação do consumo de materiais começou-se o processo de formulação da argamassa para o revestimento dos substratos de tijolos maciços contaminados em solução altamente salina de acordo com Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995).

Foi necessário calcular o volume de material que seria utilizado na confecção dos revestimentos. As dimensões do substrato e as dimensões do revestimento de argamassa de saneamento são mostradas na Figura 3.24. O Quadro 3.6 apresenta um resumo de cálculo para obtenção do volume de cada revestimento de argamassa de saneamento, o volume para o revestimento de argamassa de saneamento de 3cm de espessura, o volume para o revestimento de argamassa de saneamento de 5 cm de espessura e o volume para o revestimento de argamassa de saneamento de 7 cm de espessura, assim como o volume total de material que foi utilizado para os revestimentos dos substratos. O equipamento utilizado para elaboração da mistura da argamassa de saneamento foi a argamasseira (Figura 3.25) disponível no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

Para o cálculo do volume de material a ser introduzido na argamasseira utilizaram-se as siglas “A_{lmaior}” como sendo a dimensão de 19 cm, “A_{lmenor}” como sendo a dimensão de 9 cm e “h” como sendo a altura do substrato, de 5,3 cm.

Acima da altura do substrato, de 5,3 cm que está representado, na Figura 3.24, é o molde usado para o revestimento de argamassa de saneamento em cima do substrato, com suas respectivas alturas de espessuras.

Figura 3.24 – Dimensões do substrato e dos revestimentos de argamassa de saneamento.



Fonte: Autor.

Do total de 40 substratos, 39 substratos foram revestidos com a argamassa de saneamento. Isso aconteceu porque após o período de secagem dos substratos contaminados, passado o período previsto, realizou-se ensaio para verificar se o substrato ainda se encontrava totalmente contaminado com a solução salina. Logo, T1 não foi revestido com a argamassa de saneamento, apenas serviu de comprovação de contaminação salina após período de secagem.

Quadro 3.6 – Resumo de cálculo do volume de material para os revestimentos.

REVESTIMENTO DE ARGAMASSA DE SANEAMENTO					
CÁLCULO DO VOLUME DE MATERIAL					
Espessura 3cm		Espessura 5 cm		Espessura 7 cm	
Dimensões (m)		Dimensões (m)		Dimensões (m)	
A_{lmaior}	0,19	A_{lmaior}	0,19	A_{lmaior}	0,19
A_{lmenor}	0,09	A_{lmenor}	0,09	A_{lmenor}	0,09
Altura (h)	0,03	Altura (h)	0,05	Altura (h)	0,07
Quantidade	13	Quantidade	13	Quantidade	13
Volume	0,0067	Volume	0,0111	Volume	0,0156
Volume toral (m^3)	0,0333				

Fonte: Autor.

A ordem de inserção dos materiais na argamasseira seguiu, primeiramente com os materiais secos (os aglomerantes, o composto cinza-cal, cimento e cal; os agregados, areia quartzosa e o calcário dolomítico) seguido de 50% da água dosada para os 3,8 Kg de disponibilidade da argamasseira. A argamasseira é ligada e passa a fazer a mistura por 10 minutos. Desliga-se o equipamento, colocam-se os outros 50%

da água restante e liga-se o equipamento para nova mistura. Passados mais 10 minutos, são inseridos a quantidade de aditivo incorporador de ar até alcançar a consistência e a trabalhabilidade adequada para o revestimento dos substratos (Figura 3.26).

Figura 3.25 – Argamasseira.

Fonte: Autor.

Em todas as rodadas do traço, na confecção da argamassa de saneamento para o revestimento dos substratos, foi verificado se continha materiais soltos ao fundo do recipiente, de modo a manter a coesão do traço.

Figura 3.26 – Sequência de preparação da argamassa de saneamento na argamasseira.

Fonte: Autor.

Para que o revestimento ficasse o mais uniforme e compactado possível no substrato elaborou-se um molde de papelão revestido com papel filme transparente (por dentro e por fora) a fim de que o papelão não absorvesse água do substrato nem do revestimento. Foram feitos moldes para cada espessura de revestimento desejado, de 3 centímetros (cm), de 5 cm e de 7cm (Figura 3.27).

Figura 3.27 – Molde para o revestimento dos substratos.

Fonte: Autor.

Com a argamassa pronta e os moldes dos revestimentos envolvidos nos substratos começou-se a encher o molde com a argamassa de saneamento. Para os revestimentos de argamassa de saneamento de 3 cm colocou-se uma camada de argamassa de 1,5 cm com colher comum. Passadas duas horas da aplicação da camada inicial de 1,5 cm colocou-se mais uma camada de 1,5 cm para fechar os 3 cm de espessura de revestimento de argamassa de saneamento. Após, realizou-se o alisamento da parte superior do revestimento com a desempenadeira de madeira sem qualquer tipo de pressão (Figura 3.28).

Figura 3.28 – Preenchimento do molde para revestimento dos substratos.

Fonte: Autor.

Para os revestimentos de argamassa de saneamento de 5 cm colocou-se uma camada de argamassa de 2,5 cm com colher comum. Passadas duas horas da aplicação da camada inicial de 2,5 cm colocou-se mais uma camada de 2,5 cm para fechar os 5 cm de espessura de revestimento de argamassa de saneamento. Após, realizou-se o alisamento da parte superior do revestimento com a desempenadeira de madeira sem qualquer tipo de pressão.

Para os revestimentos de argamassa de saneamento de 7 cm colocou-se uma camada de argamassa de 3,5 cm com colher comum. Passadas duas horas da aplicação da camada inicial de 3,5 cm colocou-se mais uma camada de 3,5 cm para fechar os 7 cm de espessura de revestimento de argamassa de saneamento. Após, realizou-se o alisamento da parte superior do revestimento com a desempenadeira de madeira sem qualquer tipo de pressão.

Na Figura 3.29 é possível observar um molde completamente revestido com a argamassa de saneamento e o outro a ser preenchido. É notável que a parte superior do revestimento de argamassa fica bem compactado e alisado. Os substratos permaneceram com o molde por uma semana, contados a partir da confecção do revestimento por cada substrato. Durante os sete primeiros dias, com borrifador de água, uma vez por dia, borrifou-se água sobre a superfície do revestimento de modo a evitar a retração da argamassa de saneamento. Depois de sete dias retiraram-se os moldes dos revestimentos completamente. Contudo, na desmoldagem verificou-se que as laterais ficaram um pouco irregulares, mas nada que atrapalhasse o andamento do estudo.

Figura 3.29 – Revestimento dos substratos.

Fonte: Autor.

Nos 14 dias subsequentes a desmoldagem dos revestimentos de argamassa de saneamento dos substratos continuou-se a borrifar água uma vez por dia corrigindo as imperfeições e trincas manualmente com a desempenadeira de madeira e os dedos (Figura 3. 30).

Figura 3.30 – Revestimento de argamassa de saneamento com 3 cm de espessura.

Fonte: Autor.

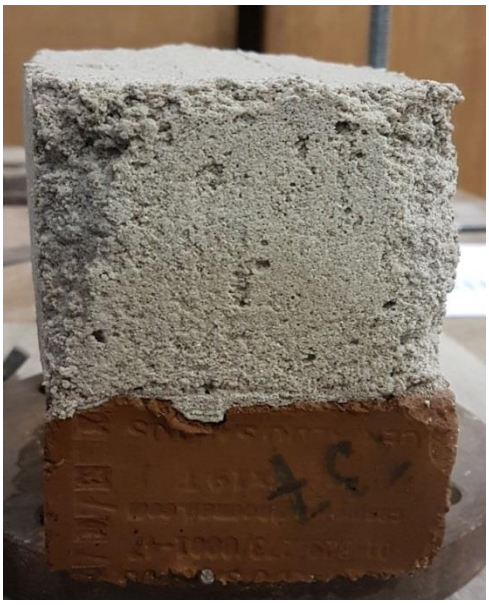
Todos os substratos revestidos com a argamassa de saneamento ficaram em espaço coberto no interior do Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Após os 21 dias borrifando água diariamente no revestimento de argamassa de saneamento, borrifou-se água uma vez por semana pelos próximos 99 dias, totalizando 120 dias de secagem e descanso até a etapa seguinte de extração das amostras em diferentes profundidades para verificar a migração dos íons cloreto do substrato para a argamassa. A Figura 3.31 mostra o revestimento de 5 cm de espessura após a retirada do molde.

Figura 3.31 – Revestimento de argamassa de saneamento com 5 cm de espessura.

Fonte: Autor.

A Figura 3.32 mostra o revestimento de argamassa de saneamento do substrato T37 com espessura de 7 cm após a retirada do molde.

Figura 3.32 – Revestimento de argamassa de saneamento com 7 cm de espessura.



Fonte: Autor.

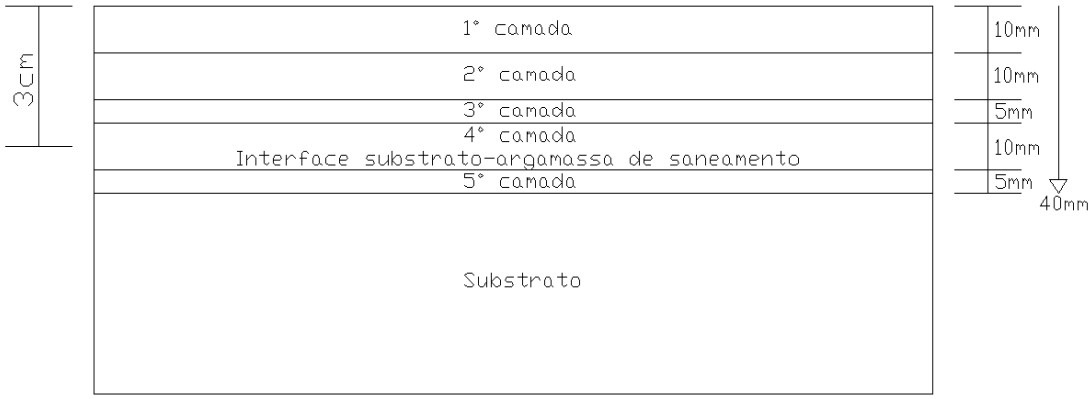
Com 120 dias de cura no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, todos os substratos revestidos estavam prontos para o processo de extração das amostras.

3.5 A EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO

O processo de extração de amostras em diferentes profundidades ao longo do revestimento de argamassa de saneamento, passando pela interface substrato-revestimento de argamassa de saneamento e no substrato foi realizado em espaço adaptado no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

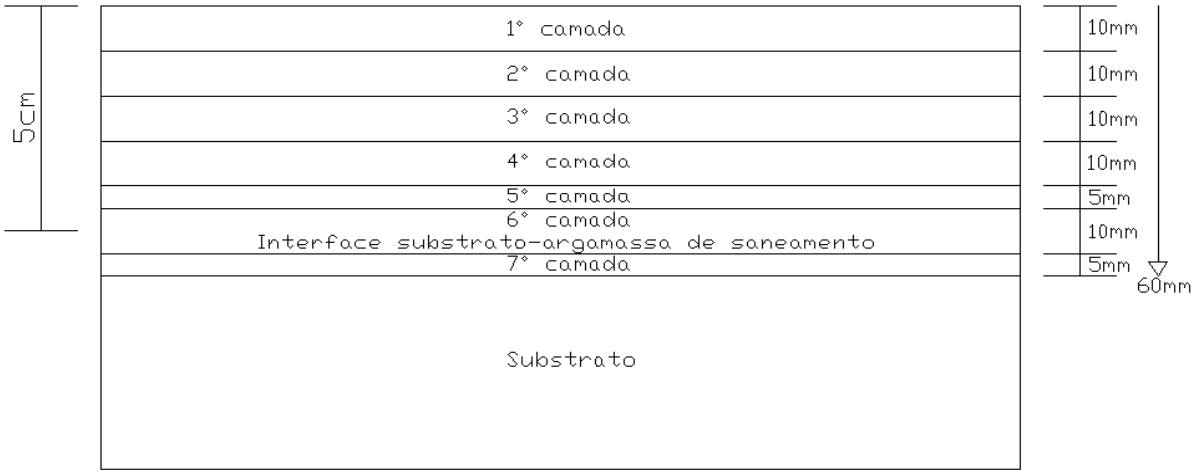
Após o efetivo período de cura dos substratos revestidos com a argamassa de saneamento deve-se realizar a extração do material em sua forma pulverizada. As Figuras 3.33, 3.34 e 3.35 mostram o planejamento de extração das amostras pulverizadas e as profundidades de camadas para os substratos revestidos com argamassa de saneamento de espessuras de 3, 5 e 7 cm, respectivamente.

Figura 33 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 3 cm.



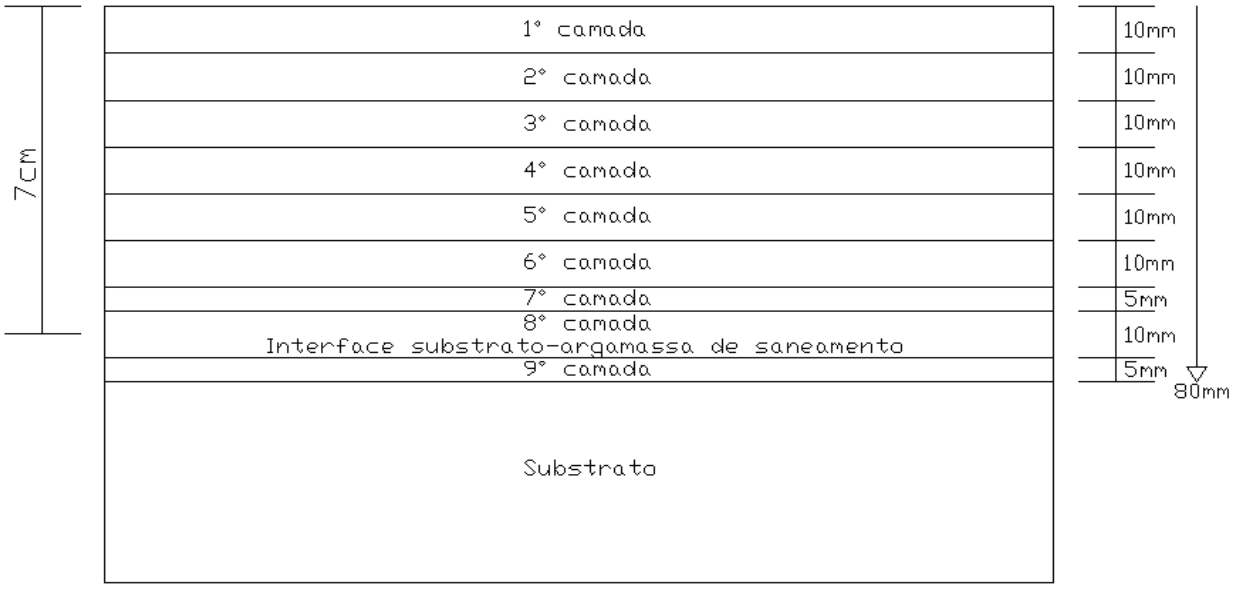
Fonte: Autor.

Figura 3.34 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 5 cm.



Fonte: Autor.

Figura 3.35 – Planejamento de extração para o substrato revestido com 7 cm.



Fonte: Autor.

Realizado o planejamento de extração das amostras em estado pulverulento, a fim de retirar qualquer material na forma de contaminante (poeira e outros) realizou-se a limpeza superficial em toda a volta do substrato com seu revestimento de argamassa de saneamento com pincel e flanela. Bender (2016) e Fanton (2017), em suas pesquisas com extração em concretos, comprovaram que a limpeza superficial antes do processo de extração é de suma importância para a inclusão da primeira camada na determinação do perfil de penetração de cloretos em ensaios que envolvam pequenas idades de contaminação visto que os primeiros pontos exercem grande influência no comportamento do perfil.

Após o planejamento e a limpeza superficial, também adotada para o revestimento de argamassa, cada substrato revestido com a argamassa de saneamento foi colocado em um equipamento especialmente projetado para efetuar a obtenção da amostra na sua forma pulverulenta (Figura 3.36). O substrato é fixado sobre o equipamento e manualmente, com furadeira de velocidade controlável e brocas serra copos de diâmetro de 25 mm, avança-se até as profundidades estabelecidas no planejamento. O controle das profundidades é feito com paquímetro e régua em dois pontos (denominados de esquerda e direita) ao longo do diâmetro do substrato revestido, tomando-se assim a profundidade média. Com a chegada à profundidade estabelecida o processo de extração cessa e com uma colher metálica recolhe-se o pó e o armazena em sacos fechados hermeticamente para posterior obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto da migração do substrato para a argamassa de saneamento. O processo é retomado, feito para cada substrato revestido com a argamassa de saneamento e para cada profundidade planejada (Figura 3.37).

Figura 3.36 – Fixação do substrato revestido no equipamento de extração.

Fonte: Autor.

Foram feitas as extrações em todos os substratos revestidos com a argamassa de saneamento e para todas as profundidades planejadas em cada espessura de revestimento, em cada um, de T0 a T40.

Figura 3.37 – Extração, controle de profundidade e coleta das amostras pulverizadas.

Fonte: Autor.

Salienta-se que nos substratos T0 e T1 a extração foi feita apenas no substrato (sem revestimento) a fim de detectar a presença dos íons cloreto passado o tempo de contaminação inicial. O substrato revestido com argamassa de saneamento T24, em virtude de acidente durante o deslocamento para o equipamento de extração foi perdido. Com todas as extrações em forma pulverulenta feitas passa-se para o tratamento das amostras extraídas.

3.6 O TRATAMENTO DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS

O intuito do processo de extração das amostras pulverizadas dos substratos revestidos com a argamassa de saneamento, desenvolvida para recuperação de prédios históricos, é determinar a relação entre a concentração de cloretos e a profundidade de penetração do íon. Para que isso seja possível é preciso tratar as amostras adequadamente. A metodologia empregada para o tratamento das amostras pulverizadas foi um método desenvolvido por Climent *et al* (1999). Segundo os autores o tratamento prévio das amostras é necessário para a posterior análise potenciométrica, detecção do ponto de equivalência, determinação do percentual de cloretos e obtenção do perfil de penetração de íons cloreto.

A aplicação da metodologia de Climent *et al* (1999) referente ao tratamento prévio das amostras pulverizadas, potenciometria, detecção do ponto de equivalência e determinação do percentual de cloretos em relação a massa de argamassa de saneamento, interface substrato-argamassa de saneamento e substrato foram aplicadas em cada uma das amostras pulverizadas contaminadas. No total foram extraídas 283 amostras na forma pulverizada.

Num primeiro instante, foi separada uma massa desse material (de cada profundidade em sua forma pulverizada) para o tratamento prévio, o restante continuou em um saco hermeticamente fechado como reserva caso houvesse a necessidade de repetição do ensaio. A massa separada do material pulverizado (de uma profundidade) foi para estufa pelo período de 24 horas a uma temperatura de 100°C (+/- 5°) (Figura 3.38).

Figura 3.38 – Secagem do material por 24 horas a uma temperatura de 100°C (+/- 5°).

Fonte: Autor.

Essa etapa de secagem em estufa, a 100°C por 24 horas, das amostras tem a finalidade retirar a umidade contida na amostra e facilitar a decomposição dos cloroaluminatos.

Transcorrido a secagem em estufa do material, as amostras foram colocadas para esfriar no interior de um dessecador com sílica em gel pelo período de 24 horas para evitar que as amostras absorvam umidade do próprio ambiente. A Figura 3.39 mostra as amostras no interior do dessecador com sílica em gel utilizado.

Figura 3.39 – Dessecador com sílica em gel.

Fonte: Autor.

Passados o período de 24 horas, as amostras contidas no interior do dessecador com sílica em gel foram submetidas à pesagem em balança analítica com 0,1 mg de precisão. A variação de massa retirada para prosseguimento, seca e livre de umidade, foi de 0,7 a 1,0 g, conforme mostrado no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Camadas de extração em função da quantidade de material.

Quantidade de material em função das camadas de extração								
Revestimento de 3 cm			Revestimento de 5 cm			Revestimento de 7 cm		
Camada de extração (nº)	Profundidade (mm)	Quantidade (g)	Camada de extração (nº)	Profundidade (mm)	Quantidade (g)	Camada de extração (nº)	Profundidade (mm)	Quantidade (g)
1	0,00 - 10,0	0,7 - 1,0	1	0,00 - 10,0	0,7 - 1,0	1	0,00 - 10,0	0,7 - 1,0
2	10,0 - 20,0		2	10,0 - 20,0		2	10,0 - 20,0	
3	20,0 - 25,0		3	20,0 - 30,0		3	20,0 - 30,0	
4	25,0 - 35,0		4	30,0 - 40,0		4	30,0 - 40,0	
5	35,0 - 40,0		5	40,0 - 45,0		5	40,0 - 50,0	
-	-		6	45,0 - 55,0		6	50,0 - 60,0	
-	-		7	55,0 - 60,0		7	60,0 - 65,0	
-	-		-	-		8	65,0 - 75,0	
-	-		-	-		9	75,0 - 80,0	

Fonte: Autor.

Após a pesagem das amostras em balança de precisão analítica (Figura 3.40), com o objetivo de desfazer a combinação de cloroaluminatos presentes na amostra adicionou-se as amostras 15 mililitros (ml) de solução de ácido nítrico (HNO_3) na proporção 1:2 com magneto (para realizar a agitação em equipamento posterior) no interior do becker para posterior ebulição em capela com agitação constante (Figura 3.40).

Figura 3.40 – Pesagem e adição de solução de HNO_3.

Fonte: Autor.

Posteriormente a pesagem, a adição da solução de HNO_3 e do magneto para agitação é colocado em cima do becker com o material dentro um vidro de relógio com água deionizada em cima, conforme Figura 3.41.

Figura 3.41 – Vidro de relógio com água deionizada.

Fonte: Autor.

O conjunto massa da amostra com a solução de ácido nítrico mais o magneto e o vidro de relógio com água deionizada em cima são então colocados para ebulição em capela com agitação constante de acordo com a Figura 3.42.

Figura 3.42 – O processo de ebulição com agitação constante.

Fonte: Autor.

A inserção do vidro de relógio e água deionizada serve para caso haja condensação e algum íon cloreto vir a se dispersar na forma de vapor para o ambiente. Logo após a fervura, o becker é colocado em outro recipiente com água a temperatura ambiente para acelerar o processo de resfriamento (Figura 3.43).

Figura 3.43 – Resfriamento acelerado do composto.

Fonte: Autor.

Após algum tempo de resfriamento da solução resultante é necessário retirar a água deionizada da parte de cima do vidro de relógio, secar com papel a parte superior do vidro de relógio e lavar as paredes do becker assim como a parte inferior do vidro de

relógio com água deionizada (Figura 3.44). Esse procedimento tem por objetivo desprender íons cloreto fixados nas paredes do recipiente e na parte inferior do vidro de relógio.

Figura 3.44 – Secagem do vidro de relógio e limpeza das paredes do recipiente.

Fonte: Autor.

Realizado a secagem da parte superior do vidro de relógio e a limpeza das paredes do recipiente, torna-se necessário adicionar hidróxido de sódio (NaOH) 2M devido à forte acidez resultante do processo anterior por conta da solução de ácido nítrico. Para isso adiciona-se 32 ml de NaOH 2M a solução resultante conforme Figura 3.45.

Figura 3.45 – Adição de NaOH 2M.

Fonte: Autor.

Feito isso, torna-se necessário realizar o ajuste do pH da solução resultante do composto. Para que a solução resultante do composto esteja com o pH ajustado e requerido na metodologia o valor compreendido deve estar entre 2 e 3. Para que se chegue ao valor determinado de pH acrescenta-se discretamente pequenas porções variadas de NaOH até chegar ao valor que se encontra entre 2 e 3. Em diversos casos ocorre de o valor do pH subir abruptamente ultrapassando o valor de 3. Quando isso acontece volta-se a adicionar pequenas porções discretas de HNO_3 para baixar o valor do pH (Figura 3.46).

Conforme mostrado na figura 3.46 abaixo, o controle de pH é realizado com as duas soluções em mãos, de HNO_3 e NaOH, acrescentando-se de acordo com o valor resultante no equipamento mostrado de ajuste de pH.

Figura 3.46 – Controle de pH da solução resultante do composto.

Fonte: Autor.

Por fim, para finalizar a etapa de tratamento das amostras, por geralmente as amostras apresentarem baixo teor de cloretos (Cl^-), é preciso adicionar a mistura da solução resultante 1 ml de solução de cloreto de sódio NaCl a 0,01 M (Figura 3.47) com o objetivo de alcançar as concentrações mínimas de cloretos para que possam ser medidas pelo equipamento.

Figura 3.47 – Adição de 1 ml de solução de cloreto de sódio NaCl a 0,01 M.

Fonte: Autor.

Para padronizar e evitar erros de cálculos nos ensaios posteriores adicionou-se 1 ml de solução de cloreto de sódio NaCl a 0,01 M para todas as amostras a serem ensaiadas. Ao fim, enfatiza-se que todo esse tratamento das amostras foi realizado para mais uma solução chamada de “branco”, o qual não apresentava material pulverizado da argamassa de saneamento, da interface argamassa-substrato e nem do substrato. A finalidade do branco é verificar o volume de cloretos presentes na água destilada e outras soluções utilizadas no tratamento prévio das amostras para ao final descontar do volume equivalente de íons cloreto encontrado na potenciometria.

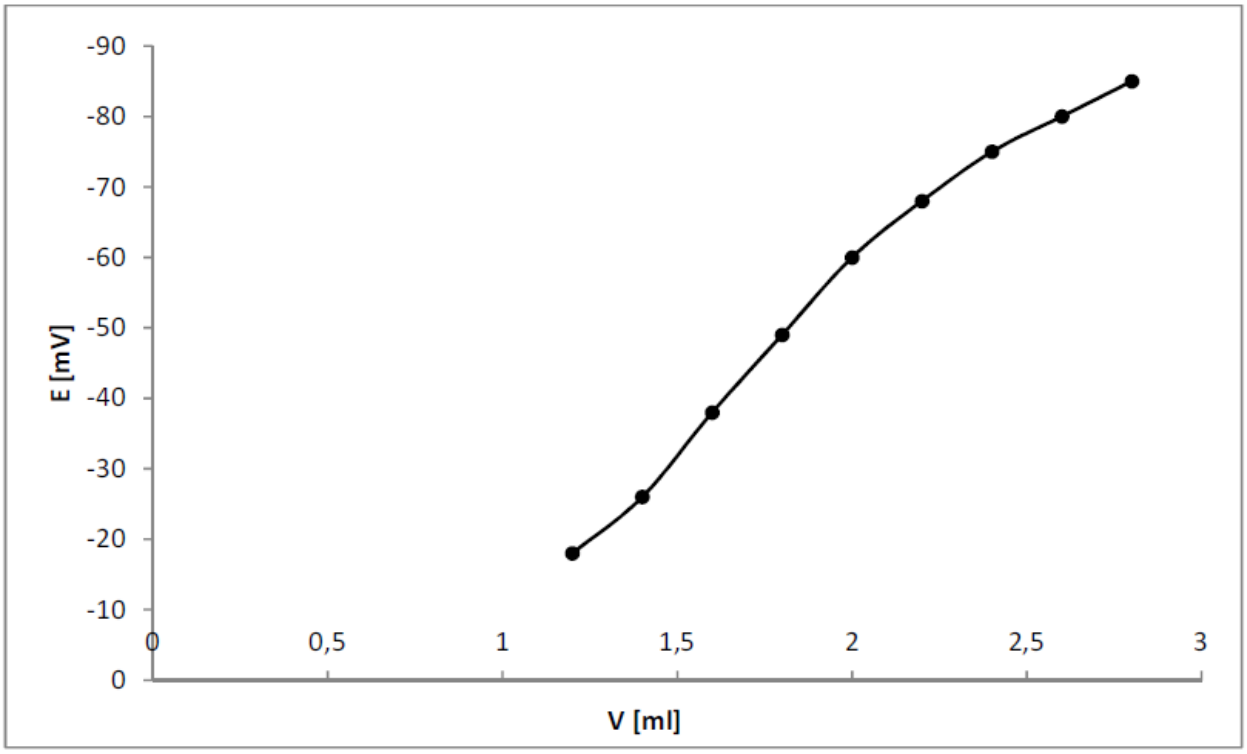
3.7 A APLICAÇÃO DA POTENCIOMETRIA

Após o tratamento prévio das amostras, para determinar a quantidade (percentual de íons cloreto) em cada camada na sua devida profundidade utilizou-se a titulação potenciométrica. A titulação potenciométrica consiste em medir os valores de potencial elétrico em função de uma espécie química em solução com concentração já conhecida. Sendo assim, para a titulação potenciométrica, utilizou-se uma solução padronizada de nitrato de prata como titulante, eletrodo maciço de prata como eletrodo indicador e eletrodo prata/cloreto de prata como eletrodo de referência.

A partir dos resultados obtidos na titulação potenciométrica é traçado um gráfico que relaciona as medidas de diferença de potencial entre o eletrodo indicador e o

eletrodo de referência em milivolts (mV) com o volume da solução padrão consumida (ml), conforme Figura 3.48.

Figura 3.48 – Curva da titulação potenciométrica potencial medido versus o volume de titulante.



Fonte: Fanton (2017).

O ponto onde se encontra a máxima concentração de cloretos chama-se ponto de equivalência e corresponde ao momento em que o titulado foi totalmente consumido pelo titulante, em que a diferença de potencial medida a partir desse ponto corresponde ao acúmulo do titulante na solução analisada.

Esse procedimento causa mudança brusca no potencial medido, o que indica que houve o término da reação, representado na curva pelo ponto de inflexão. Logo, para a medição do ponto final é utilizado de métodos matemáticos, os métodos de primeira e segunda derivada da curva obtida pelo ensaio.

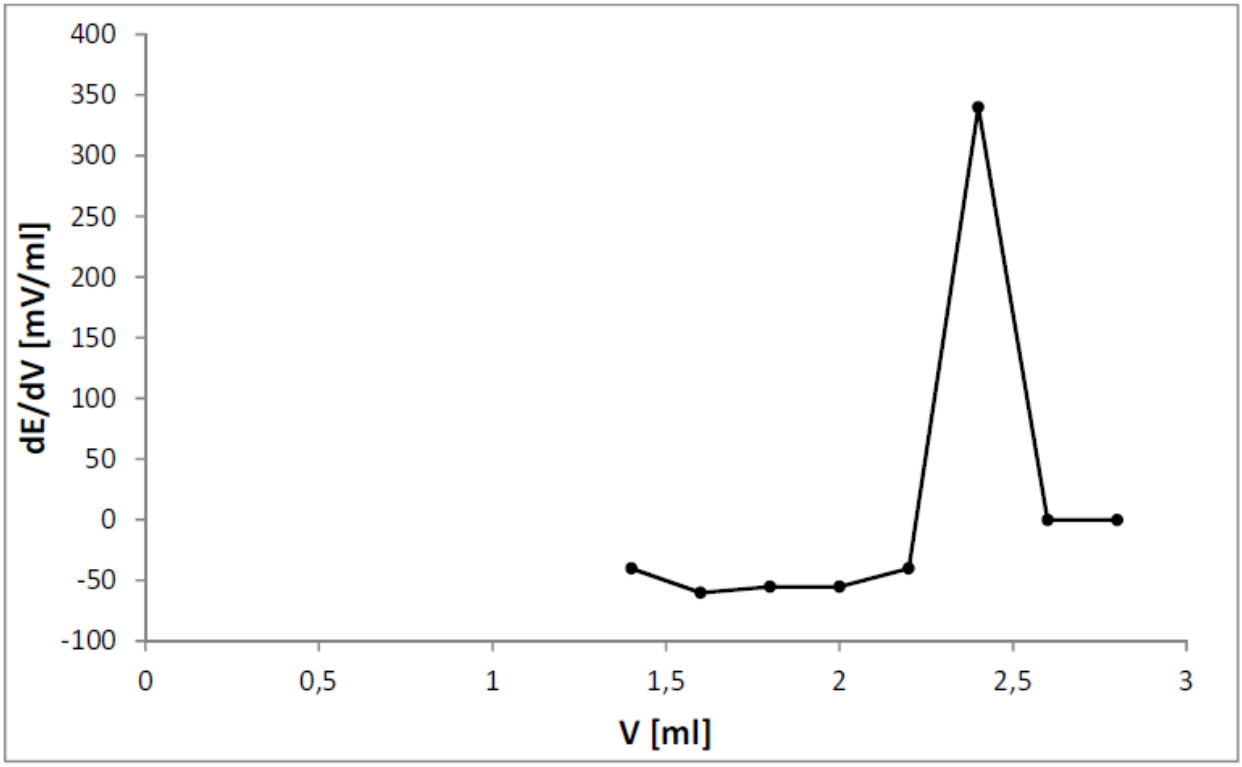
3.7.1 Ponto de equivalência: método da primeira e segunda derivada

Segundo Climent *et al* (2004) o método para detecção do ponto de equivalência na titulação potenciométrica é feito através do cálculo da primeira e segunda derivada da curva potencial medido versus o volume de titulante consumido. O cálculo detecta o

ponto máximo da curva pelo cálculo da primeira derivada ou o ponto onde a segunda derivada da curva equivale à zero, sendo ambas correspondentes ao ponto de inflexão da curva e ao ponto de equivalência.

O cálculo do ponto de inflexão da curva pelo método da primeira derivada calcula a variação de potencial elétrico pela variação de volume da solução titulante. A Figura 3.49 exemplifica o ponto máximo correspondente ao ponto de equivalência.

Figura 3.49 – Ponto de inflexão pelo cálculo da primeira derivada.

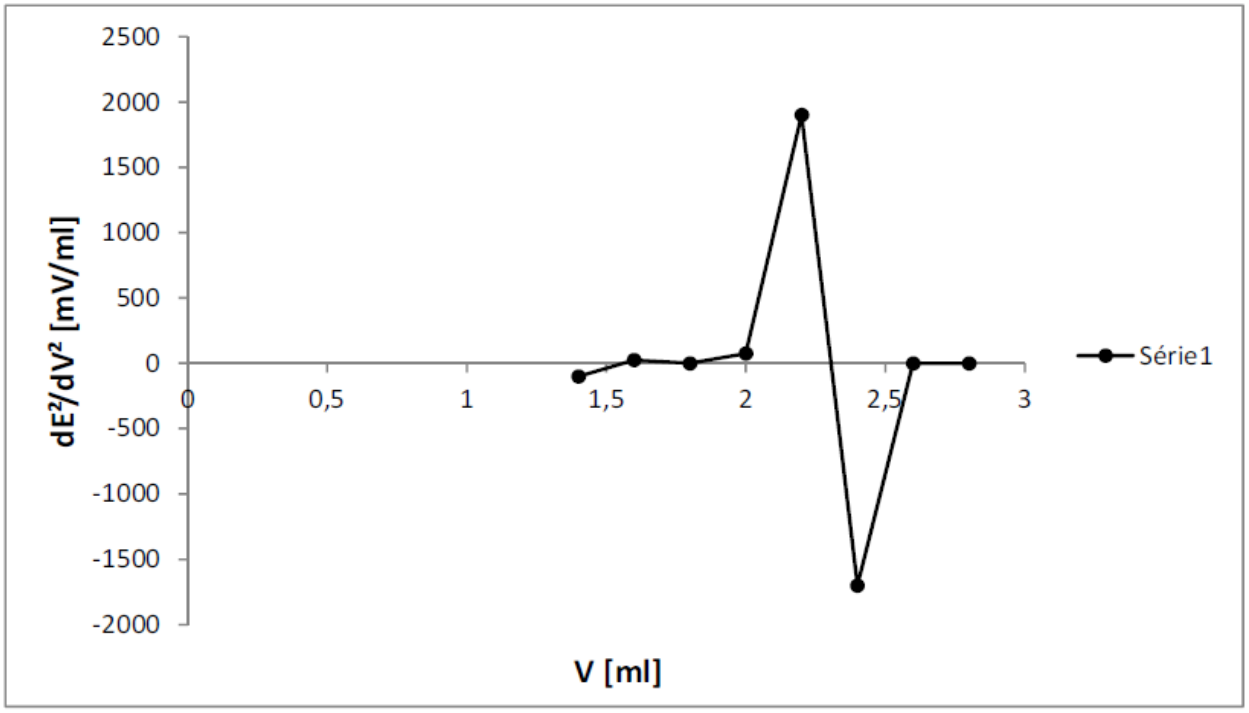


Fonte: Fanton (2017).

Por isso, o volume da solução titulante utilizada na titulação potenciométrica pelo ponto em que a segunda derivada da curva sigmodal apresenta valor nulo para a variação da diferença de potencial o que adiciona confiabilidade a pesquisa na aplicação dos resultados.

Entre dois volumes, a função se faz igual à zero em um determinado ponto pela mudança de sinal da curva, logo o volume nesse ponto é detectado por interpolação do volume equivalente, de muita importância para determinação do teor de cloretos na amostra em análise (Figura 3.50).

Figura 3.50 – Ponto de inflexão pelo cálculo da segunda derivada.



Fonte: Fanton (2017).

De acordo com Fanton (2017) esses métodos da primeira e segunda derivada se baseiam em que a curva de titulação é simétrica envolta ao ponto de equivalência e por isso a inflexão da curva corresponde ao ponto analisado.

3.7.2 Determinação do percentual de cloretos em relação à massa de revestimento, substrato-revestimento e substrato

Determinado o volume equivalente (Veq) por titulação potenciométrica é possível determinar o percentual de íons cloreto contidos na massa de revestimento, revestimento-substrato e substrato. O volume de cloretos totais (Vcl) é, em primeiro instante, calculado de acordo com a equação 3.15:

$$Vcl = Veq - Vbranco - Vadd\ de\ Cl \tag{3.15}$$

Onde:

Vcl – Volume total de cloretos na amostra analisada (ml);

Veq – Volume equivalente (ml);
Vbranco – Volume de cloretos presentes no branco (ml);
Vadd de Cl – Volume adicionado de cloretos na amostra (1 ml).

Com a determinação do volume total de cloretos é possível determinar o teor de cloretos presentes na amostra analisada em relação à massa de revestimento, massa de revestimento-substrato e massa de substrato pela seguinte equação 3.16:

$$C = \frac{\mathrm{Vcl.\,Mcl\ 1M\ NaCl.\,Csolução}}{Mamostra}.100 \tag{3.16}$$

Onde:

C – Teor de cloretos em relação à massa da amostra (%);
Vcl – Volume total de cloretos na amostra;
Mcl 1M NaCl – Massa de cloreto em 1M de NaCl (g/mol = 35,453);
Csolução – Concentração da solução titulante = 0,01 mol/l;
Mamostra – Massa da amostra seca na titulação potenciométrica (g);

Portanto, antes do traçado do perfil de íons cloreto é preciso descontar o valor obtido para o teor de cloretos em relação a massa da amostra (C) a concentração inicial no interior da massa analisada (C0).

3.7.3 O traçado dos perfis de íons cloreto

O percentual de cloretos foi encontrado para cada amostra pulverizada dos substratos revestidos com argamassa de saneamento, interface revestimento de argamassa de saneamento com o substrato e apenas a camada de substrato. Logo, o teor de cloretos real para cada camada foi relacionado com a sua profundidade média de extração determinando o perfil de concentração de íons cloreto em função da profundidade de penetração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresentará os resultados obtidos no estudo, sendo feita sua análise e uma discussão sobre os métodos aplicados para se chegar ao comportamento dos perfis de íons cloretos através da migração do substrato para a argamassa de saneamento, desenvolvida para recuperação de prédios históricos em diferentes espessuras de revestimentos. Primeiramente, através da metodologia aplicada (conforme item 3), é realizada uma caracterização dos materiais constituintes da argamassa de saneamento (areia, calcário, composto cinza-cal, cal e cimento) quanto à massa específica do material isolado, caracterização no estado fresco e no estado endurecido da argamassa de saneamento proposta para o revestimento dos substratos para analisar suas propriedades. Com isso, parte-se para a análise do comportamento dos íons cloretos e sua migração do substrato para argamassa de saneamento para as espessuras de revestimentos de 3, 5 e 7 cm. E, por fim, verificar se a argamassa de saneamento proposta atinge a finalidade de reter os sais solúveis, em suas respectivas espessuras de revestimentos, e serem aplicadas em obras convencionais de regiões costeiras e portuárias.

4.1 CARACTERISTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO

Conforme mencionado no texto, a massa específica é uma importante característica dos materiais constituintes da argamassa de saneamento. O Quadro 4.1 apresenta os resultados de massa específica dos materiais constituintes da argamassa de saneamento.

A massa específica dos materiais constituintes da argamassa de saneamento (cimento, cal, composto cinza de carvão mineral e cal, areia e calcário dolomítico) possui forte influência sobre a trabalhabilidade do material em seu estado fresco, por isso, viu-se a necessidade de mencionar essa propriedade para caracterizar esses materiais envolvidos no traço da argamassa de saneamento para que sirvam de base para recuperação de revestimentos degradados por influência do ambiente de inserção, regiões costeiras e portuárias de atmosfera predominantemente marinha.

O fato de a massa específica interferir na trabalhabilidade da argamassa de saneamento em seu estado fresco está relacionado à baixa massa específica, que

assim apresentam materiais mais leves que são facilmente manipulados para interagir com a mistura e o substrato de aplicação.

Quadro 4.1 – Caracterização quanto à massa específica.

Caracterização dos materiais constituintes da argamassa de saneamento quanto à massa específica					
Argamassa de saneamento	Cinza-Cal μ (g/cm³)	Cal μ (g/cm³)	Cimento μ (g/cm³)	Calcário μ (g/cm³)	Areia μ (g/cm³)
	2,06	2,57	2,67	2.90	2,59

Fonte: Autor.

De acordo com Santos *et al* (2015) os materiais agregados que fazem parte da composição de um traço de argamassa constituem de 75 a 85% do volume das argamassas. Logo, esse material influencia diretamente no comportamento adequado das características físicas, químicas e mecânicas. Boas propriedades, como é o caso da massa específica, repercutem no aspecto final dos revestimentos argamassados como textura e cor.

Pczieczec (2017), em seu estudo de caracterização dos materiais constituintes de uma argamassa para reboco convencional, com adição de cinzas volantes e resíduos de borrachas de pneus inservíveis, encontrou valor de massa específica da areia de 2,55g/cm³. Valor semelhante foi encontrado de 2,59 g/cm³ para a argamassa de saneamento de recuperação.

Quanto às propriedades da cal em argamassas de revestimento, Recena (2014) identifica como sendo as suas principais características: a trabalhabilidade, a retenção de água, a incorporação de ar, a resistência à compressão, o baixo módulo de elasticidade, a porosidade, a capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e a durabilidade.

Quanto a cinza de carvão mineral utilizada, o valor de massa específica ficou de 2,06 g/cm³ para o composto misturado com cal. Pczieczec (2017) encontrou valor de 2,16 g/cm³, considerando um material leve e de boa aplicação em argamassas para revestimentos.

Esses resultados característicos de massa específica, realizados para cada constituinte da mistura da argamassa de saneamento foi reportado com intuito de registrar essa propriedade que geralmente não é analisada isoladamente. Para novas

pesquisas em argamassas de saneamento e de recuperação podem servir de parâmetros iniciais dos materiais envolvidos na elaboração.

4.2 CARACTERISTICAS DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO NO ESTADO FRESCO

Os resultados dos processos de caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco para o índice de consistência, densidade de massa e do teor de ar incorporado da argamassa de saneamento utilizada para o revestimento dos substratos de alvenaria estão apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco.

Caracterização da argamassa de saneamento no estado fresco			
Argamassa de Saneamento	Índice de consistência (cm)	Densidade de massa d (Kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
	28,00	1390,20	34,00

Fonte: Autor.

O índice de consistência e o teor de ar incorporado proporcionam uma melhor trabalhabilidade à argamassa, porém podem trazer algumas características negativas como a perda de resistência mecânica e a adesão inicial aos substratos de tijolos maciços.

Quanto ao índice de consistência, Mattos (2018) em sua pesquisa, também referente ao desempenho de argamassas de cal destinada ao restauro de revestimentos externos de prédios históricos, porém com a adição de pozolanas metacaulim, encontrou valor médio de índice de consistência de 260 mm. Para Mergulhão (2014), esses valores conferem trabalhabilidade adequada as argamassas em seu estado fresco. Esses valores também podem ser justificados pelo teor de finos incorporado a mistura da argamassa de saneamento que diminuem a tensão superficial da pasta aglomerante e a adesão ao agregado.

Devido a adição do aditivo incorporador de ar a mistura da argamassa de saneamento obteve-se uma menor densidade de massa em relação as argamassas convencionais. Segundo Pczieczec (2017), que obteve teor de ar incorporado em sua argamassa de revestimento de 10% em relação a quantidade de borracha inservível em substituição ao agregado miúdo já conferiu uma ótima trabalhabilidade a sua

argamassa. Já Mattos (2018), em sua argamassa de revestimento externo de recuperação para aplicação em prédios históricos obteve teor de ar incorporado de 3% devido a adição da pozolana metacaulim, porém a finalidade não é a de aprisionamento de sais solúveis como no caso dessa pesquisa, onde o valor obtido foi de 34%, ficando de acordo com o recomendado pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA (1995) em que diz que uma argamassa de reboco de recuperação deve apresentar um teor de ar incorporado, no estado fresco, superior a 25%.

Quanto maior o teor de finos adicionado a mistura de argamassa maior será a densidade de massa obtida (MATTOS, 2018). O valor encontrado de densidade de massa dessa argamassa de saneamento, com a finalidade de reter íons cloreto no interior da mistura foi de 1390,20 Kg/m³, enquanto que a da autora foi de 1811 Kg/m³, o que se justifica pela adição das pozolanas em sua argamassa de recuperação. Breitenbach (2013) salienta que quando foram mencionados valores mais altos de densidade são devidos ao aumento do teor de finos, provocando maior grau de empacotamento nas argamassas.

Logo, os resultados obtidos de caracterização da argamassa de saneamento, no estado fresco, estão apropriados para sua finalidade de reter sais solúveis em sua microestrutura evitando a formação de manifestações patológicas em revestimentos de restauros para possível aplicação em obras convencionais em zonas de atmosfera marinha.

4.3 CARACTERISTICAS DA ARGAMASSA DE SANEAMENTO NO ESTADO ENDURECIDO

O Quadro 4.3 mostra os resultados conferidos à resistência a tração na flexão e a resistência à compressão axial assim como os desvios absolutos máximos para os corpos de prova de argamassa de saneamento no estado endurecido.

A resistência a tração na flexão, em média, para a quantidade de corpos de provas analisados ficou com valor de 0,13 MPa e a resistência à compressão axial com 0,21 MPa. Bianchin (1999) menciona que a resistência a compressão das argamassas de recuperação, quando adicionados aditivo incorporador de ar tendem a diminuir e aumentam com o acréscimo do teor de cimento e hidrofugante.

Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA (1995), os valores recomendados de resistência à compressão são de 1,5 a 5 MPa. Portanto, neste caso,

a resistência à compressão da argamassa de saneamento não atendeu ao recomendado. Isto pode se dar ao fato de que as especificações são que argamassas com 1% ou mais de aditivo incorporador de ar tenderiam a não atender as recomendações do caderno alemão (BIANCHIN, 1999). Ressalta-se que foi utilizado exatamente 1% em relação a massa de aglomerante de aditivo incorporador de ar para confecção da argamassa de saneamento. Bianchin (1999) ainda salienta que o teor de ar incorporado aumenta com o aditivo incorporador de ar na mesma proporção que a resistência à compressão diminui.

Quadro 4.3 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto às resistências.

Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido					
Resistência à tração na flexão					
CP	Carga (N)	L (cm)	Rf (Mpa)	Rf média (MPa)	d.a.m
1	50,30	100,00	0,12	0,13	0,01
2	59,80	100,00	0,14		
3	50,40	100,00	0,12		
Resistência à compressão axial					
CP	Carga (N)	Rc (MPa)	Rc média (MPa)		d.a.m
1	218,60	0,14	0,21		0,04
2	351,70	0,22			
3	399,20	0,25			
4	323,20	0,20			
5	403,80	0,25			
6	294,60	0,18			

Fonte: Autor.

Conforme analisado no Quadro 4.3, tanto à resistência à tração na flexão quanto à resistência a compressão axial resultaram em valores médios baixos, comparando com as Recomendações do Caderno Alemão WTA (1995), mesmo seguindo rigorosamente todos os passos de confecção da argamassa de saneamento. Provavelmente seja influência direta do aditivo incorporador de ar na mistura da argamassa. Ambas as resistências foram obtidas aos 28 dias. Esses valores tendem a aumentar com o passar do tempo.

De acordo com Mattos (2018), em sua pesquisa, tanto as argamassas de recuperação sem e com adição de metacaulim, aos 28 dias, apresentaram resistências à compressão variando entre 0,35 e 0,47 MPa mais que dobrando aos 540 dias. Já

quanto as resistências à tração na flexão apresentaram valores variando entre 0,12 e 0,30 MPa aumentando com o passar do tempo.

Baseado nas especificações do Caderno de Recomendações Alemão WTA (1995), o qual norteou a confecção da argamassa de saneamento, recomendando resistências entre 1,5 e 5 MPa considerou-se um valor muito baixo para esta argamassa de saneamento tendo que obter uma série de cuidados após a aplicação.

O Quadro 4.4 indica a absorção de água dos corpos de prova com 10 e 90 minutos de imersão em água, a média do coeficiente de capilaridade e os desvios relativos máximos apresentados pelos corpos de prova de argamassa de saneamento após os devidos períodos de tempo.

Quadro 4.4 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto à absorção de água por capilaridade.

Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido							
Absorção de água por capilaridade							
CP	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	A_{10}	A_{10} médio (g/cm²)	A_{90}	A_{90} médio (g/cm²)
1	341,45	349,31	362,66	0,49	0,47	1,33	1,31
2	342,45	349,97	363,30	0,47		1,30	
3	344,45	351,56	365,10	0,44		1,29	
Coeficiente de capilaridade							
CP	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	C	C médio (g/dm² x min¹/²)	d.r.m (%)	
1	341,45	349,31	362,66	13,35	13,41	99,43	
2	342,45	349,97	363,30	13,33			
3	344,45	351,56	365,10	13,54			

Fonte: Autor.

Segundo Mattos (2018) referente a durabilidade das argamassas, a absorção de água por capilaridade pode ser um dos indicadores do processo de degradação, com tendência de se manifestar sob a ação da água da chuva ou do solo. Geralmente, as argamassas com pior comportamento frente à ação da água são as que apresentam maiores valores do coeficiente de capilaridade (CC), maior velocidade de absorção e maior quantidade total absorvida.

De acordo com os valores encontrados por Mattos (2018) verifica-se que ainda há poros a serem preenchidos por absorção de água por capilaridade na argamassa de saneamento confeccionada, o que é um bom resultado para o aprisionamento de íons cloretos durante sua migração. A autora aumentou o teor de finos na argamassa e

obteve valores de 4,0 g/cm² aos 90 minutos de aplicação do ensaio, saturando as amostras testadas.

Os resultados obtidos na argamassa de saneamento também estão de acordo com os resultados de Breitenbach (2013), identificando em seu trabalho que o aumento de finos nas argamassas de cal determina aumento no coeficiente de capilaridade e na absorção de água em comparação com a argamassa de referência (cal e areia).

Os resultados obtidos para absorção capilar da argamassa de saneamento também estão de acordo com a norma Alemã WTA (1995) em que recomenda que a absorção capilar deva ser superior a 0,03 g/cm². Essa exigência mínima de absorção capilar é para que os sais solúveis possam ser solubilizados e transportados para as camadas subsequentes ao substrato.

Quanto a absorção de água o Quadro 4.5 apresenta os valores relacionados à absorção de água por imersão total e o índice de vazios presentes nos corpos de provas ensaiados de argamassa de saneamento. O mecanismo de penetração da água no interior da argamassa pode influenciar no processo de secagem da argamassa de saneamento.

Quadro 4.5 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto à absorção de água e índice de vazios.

Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido					
Absorção de água					
Amostra	ms (g)	msat (g)	A		A média
1	315,30	429,55	36,24		34,48
2	336,56	454,49	35,04		
3	344,51	455,31	32,16		
Índice de vazios					
Amostra	msat (g)	ms (g)	mi (g)	Iv	Iv médio
1	429,55	315,30	180,45	45,87	44,74
2	454,49	336,56	194,13	45,29	
3	455,31	344,51	198,05	43,07	

Fonte: Autor.

Em conformidade com Bianchin (1999) o aditivo incorporador de ar não possui influência significativa quando se trata de absorção por imersão. Mattos (2018) também comenta que, com o passar do tempo de cura da argamassa ocorre a redução do valor por absorção por imersão.

A absorção de água por imersão ficou de acordo com o recomendado pela norma Alemã WTA (1995) em que considera o mínimo de 23% para a absorção de água por imersão e mínimo de 40% para o índice de vazios. O Quadro 4.5 mostra que o resultado da absorção de água por imersão para a argamassa de saneamento ficou com 34,48% e o índice de vazios com 44,74%.

Bianchin (1995) também menciona que existe uma relação entre a absorção de água por imersão e o teor de ar incorporado, em que estas são proporcionais. À medida que a quantidade de incorporador de ar aumenta o teor de ar incorporado a mistura também aumenta e com isso a absorção de água por imersão também cresce. Isto ocorre para quantidades de aditivo incorporador de ar com máximo de 1,2%, passados esse valor a absorção de água por imersão diminui junto com o teor de ar incorporado, em proporções iguais.

A tendência é que o valor médio de absorção de água passe a diminuir com o passar do tempo por causa do preenchimento dos vazios com a migração dos sais solúveis para a argamassa de saneamento.

Quanto às massas específicas de amostras secas, saturadas e reais, o Quadro 4.6 apresenta os valores obtidos após 28 dias de produção dos corpos de prova com a argamassa de saneamento.

Quadro 4.6 – Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido quanto às massas específicas.

Caracterização da argamassa de saneamento no estado endurecido					
Massa específica da amostra seca					
Amostra	ms (g)	msat (g)	mi (g)	ρs (g/cm³)	ρs médio (g/cm³)
1	315,30	429,55	180,45	1,27	1,30
2	336,56	454,49	194,13	1,29	
3	344,51	455,31	198,05	1,34	
Massa específica da amostra saturada					
Amostra	msat (g)	mi (g)	ρsat (g/cm³)		ρsat médio (g/cm³)
1	429,55	180,45	1,72		1,75
2	454,49	194,13	1,75		
3	455,31	198,05	1,77		
Massa específica real					
Amostra	ms (g)	mi (g)	ρr (g/cm³)		ρr médio (g/cm³)
1	315,30	180,45	2,34		2,35
2	336,56	194,13	2,34		
3	344,51	198,05	2,36		

Fonte: Autor.

Os valores de massa específica seca, massa específica saturada e massa específica real da argamassa de saneamento estão em conformidade com os valores obtidos por Nunes (2022) quando utilizou do traço para revestir as paredes externas do prédio histórico da Catedral de São Pedro na cidade do Rio Grande, RS.

Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA (1995), para uma argamassa de saneamento de reboco de recuperação o valor de massa específica seca deve estar entre 1,1 e 1,5 g/cm³, o valor de massa específica saturada deve estar entre 1,3 e 1,7 g/cm³ e a massa específica real não possui recomendações da norma alemã.

Os resultados dos ensaios na argamassa de saneamento, para aplicação nos substratos de tijolos maciços, quanto às massas específicas seca, saturada e real estão em conformidade com as recomendações estabelecidas pelo Caderno de Recomendações alemão para rebocos de recuperação.

4.4 OBTENÇÃO DOS PERFIS DE PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO

Com a metodologia aplicada foi possível traçar os perfis de penetração (migração) de íons cloreto os quais relacionam a concentração de íons cloreto em relação à massa da argamassa de saneamento, a massa da interface de contato entre a argamassa de saneamento e o substrato e apenas só o substrato com sua profundidade de penetração. Foram ensaiados 41 substratos no total. Desses, cada um possui suas diversas camadas de profundidade de argamassa de saneamento, interface de contato da argamassa de saneamento com o substrato e apenas o substrato, com teores ou não de cloretos representados nos gráficos a seguir. Essa quantidade teve por finalidade fornecer maior credibilidade a pesquisa e visando obter um comportamento semelhante para cada tipo de revestimento, em suas diferentes espessuras, frente a migração de íons cloreto para a argamassa de saneamento. Seria até possível mostrar todos os perfis de penetração de íons cloreto, para uma determinada espessura de revestimento de argamassa de saneamento, em apenas um gráfico, porém optou-se por mostrá-los separadamente para evitar poluição visual e um aglomerado de informações num mesmo local.

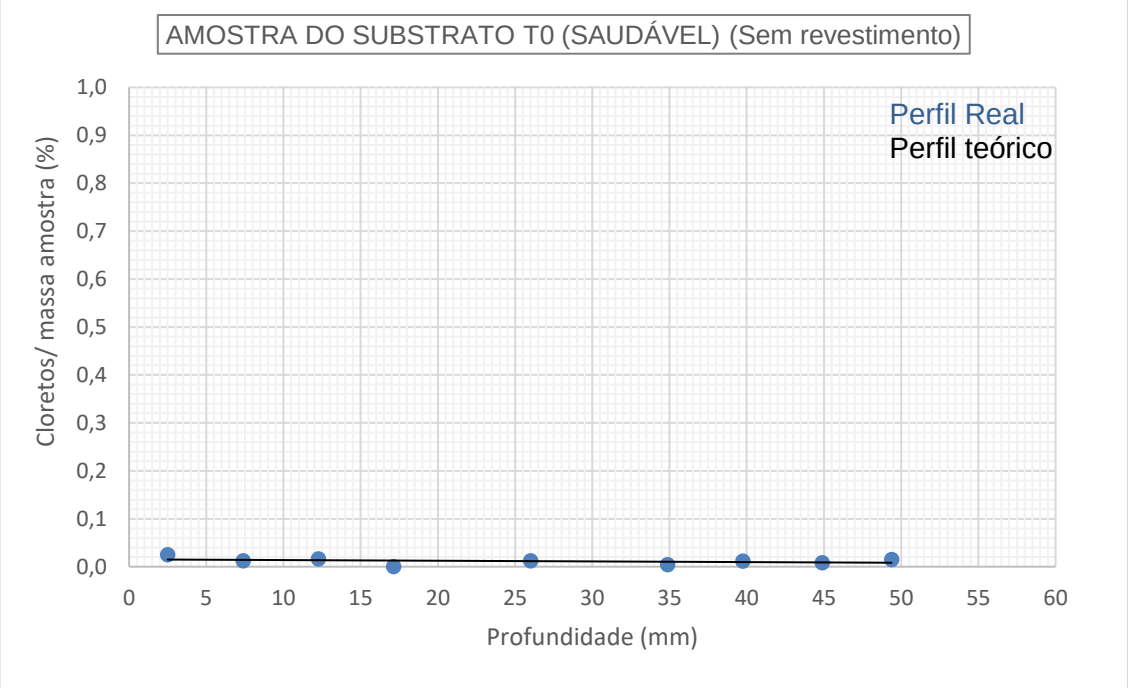
Sendo assim, os perfis de penetração de íons cloreto obtidos para as amostras de argamassa de saneamento, interface de contato da argamassa de saneamento com o substrato e apenas o substrato é apresentada nos gráficos das imagens a seguir e

mostram a relação entre os pontos do perfil real obtidos por potenciometria volumétrica de forma experimental (Pontos em azul). Também é conveniente apresentar o perfil teórico que é obtido pelo ajuste da curva de penetração dos sais solúveis, pelo método dos mínimos quadrados, representado pela linha continua, a partir da resolução da Segunda Lei de Fick, exposta por Crank (1975), o qual permite a obtenção de forma simplificada dos valores da concentração de cloretos.

Na Figura 4.1 é apresentado o perfil de comportamento dos íons cloreto (APÊNDICE 05) para o substrato (T0) não contaminado em solução salina (chamado pela nomenclatura de substrato saudável) para fins de parâmetros para as demais amostras. O substrato saudável teve amostra retirada apenas do substrato, sem revestimento com a argamassa de saneamento.

Pode-se perceber que o substrato (T0 - saudável), sem revestimento com argamassa de saneamento, apenas para fins de parâmetros iniciais para o comportamento das demais amostras, apresenta perfil de cloretos bem próximo à zero. Isso era esperado visto que este substrato não passou pela metodologia de contaminação salina.

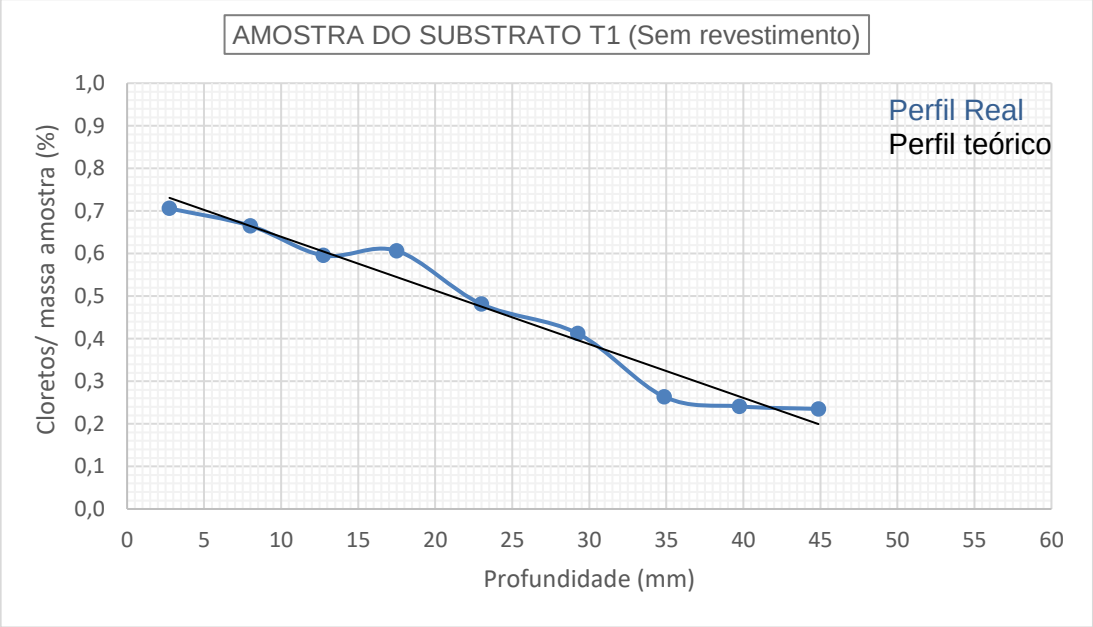
Figura 4.1 – Perfil de íons cloreto no substrato T0, sem revestimento e não contaminado com solução salina.



Fonte: Autor.

Já a Figura 4.2 mostra o comportamento do perfil de íons cloreto do substrato (T1) (APÊNDICE 05), sem revestimento, para fins de parâmetros iniciais e revestimento com a argamassa de saneamento.

Figura 4.2 – Perfil de íons cloreto no substrato T1, sem revestimento e contaminado com solução salina.



Fonte: Autor.

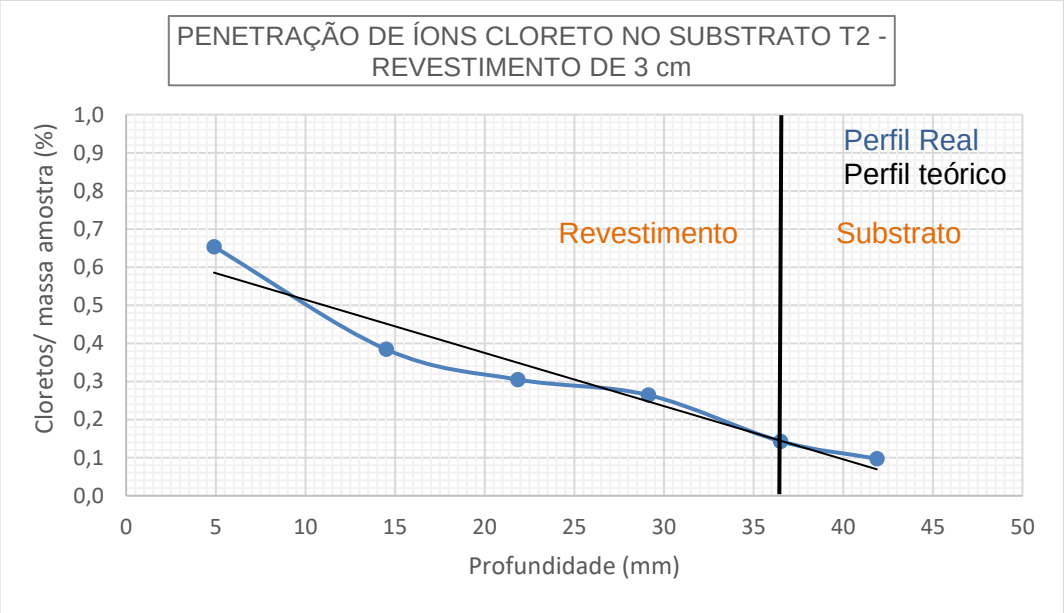
Conforme o esperado e confirmado, os parâmetros iniciais para seguimento com a próxima etapa de revestimento dos substratos, com diferentes espessuras, após a contaminação do substrato T1 foram satisfatórios, pois a concentração de íons cloreto foi bastante elevada. Esse resultado precisava que ocorresse dessa maneira para que fosse possível o prosseguimento do estudo. Portanto, a seguir será mostrado o comportamento da concentração de íons cloreto, e sua migração para a argamassa de saneamento, em relação a profundidade para os substratos revestidos com argamassa de saneamento de 3 cm de espessura.

4.4.1 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 3 cm

Para analisar o comportamento dos perfis de penetração de íons cloreto em função da sua migração do substrato contaminado para a argamassa de saneamento obtiveram-se 13 substratos que foram submetidos ao processo de contaminação

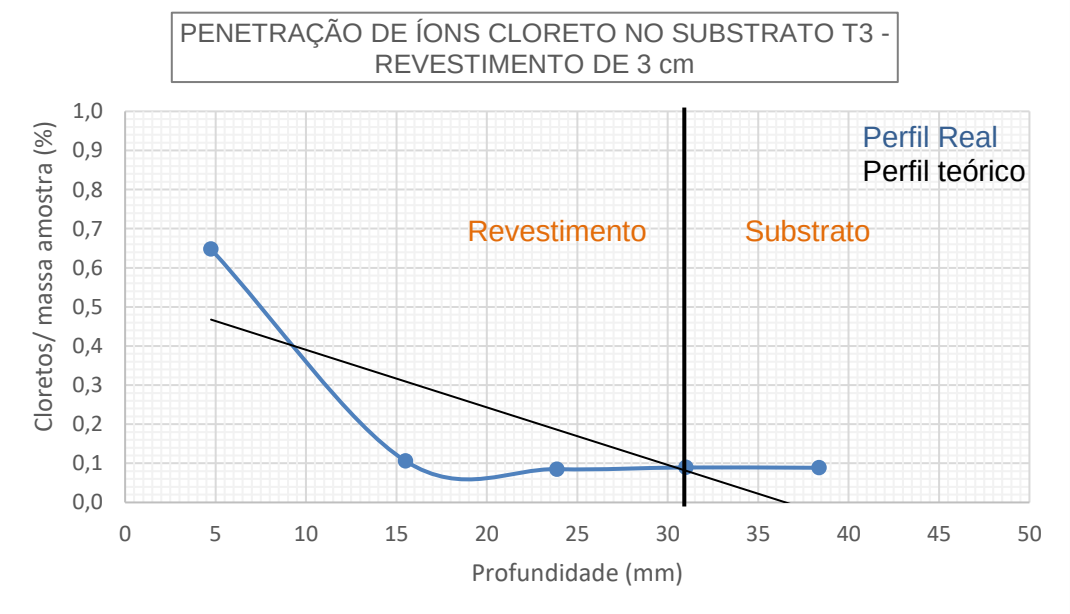
salina. Nas Figuras 4.3 e 4.4 são mostrados o comportamento do perfil de penetração de íons cloreto (APÊNDICE 05a) para o substrato (T2 e T3) com revestimento de argamassa de saneamento de 3 cm de espessura.

Figura 4.3 – Perfil de íons cloreto no substrato T2, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

Figura 4.4 – Perfil de íons cloreto no substrato T3, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

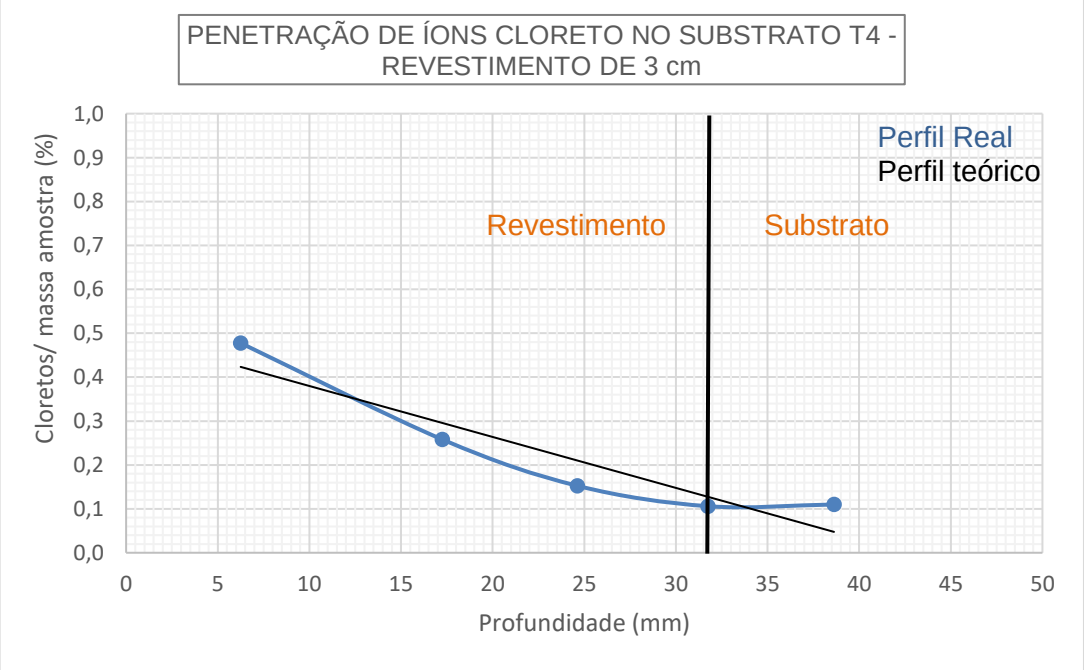
Percebe-se que a migração de íons cloreto, para essas duas amostras, foi de forma significativamente alta, aumentando continuamente para as primeiras camadas

quase atingindo a superfície do revestimento com argamassa de saneamento. As curvas de regressão teórica obtidas possuem comportamento quase que idênticos.

O perfil de penetração de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento se assemelha muito com o obtido por Nunes (2022), em seu ponto de coleta “L2” quando foi extraído do revestimento da Catedral de São Pedro na cidade de Rio Grande. Quanto aos valores de cloretos obtidos, Nunes (2022) identificou teores máximos, mas não na superfície, da ordem de 0,13% em relação a massa da argamassa. O teor de cloretos totais, relativamente baixo comparado com os substratos revestidos T2 e T3, está relacionado ao revestimento estar em uso, não tendo sido submetido a contaminação altamente salina conforme feito nesta tese.

Do mesmo modo ocorreu com os resultados encontrados nos substratos revestidos com argamassa de saneamento T4 e T5, de espessura de 3 cm. As Figuras 4.5 e 4.6 ilustram o comportamento de penetração (APÊNDICE 05a) dessas duas amostras.

Figura 4.5 – Perfil de íons cloreto no substrato T4, revestimento de 3 cm.

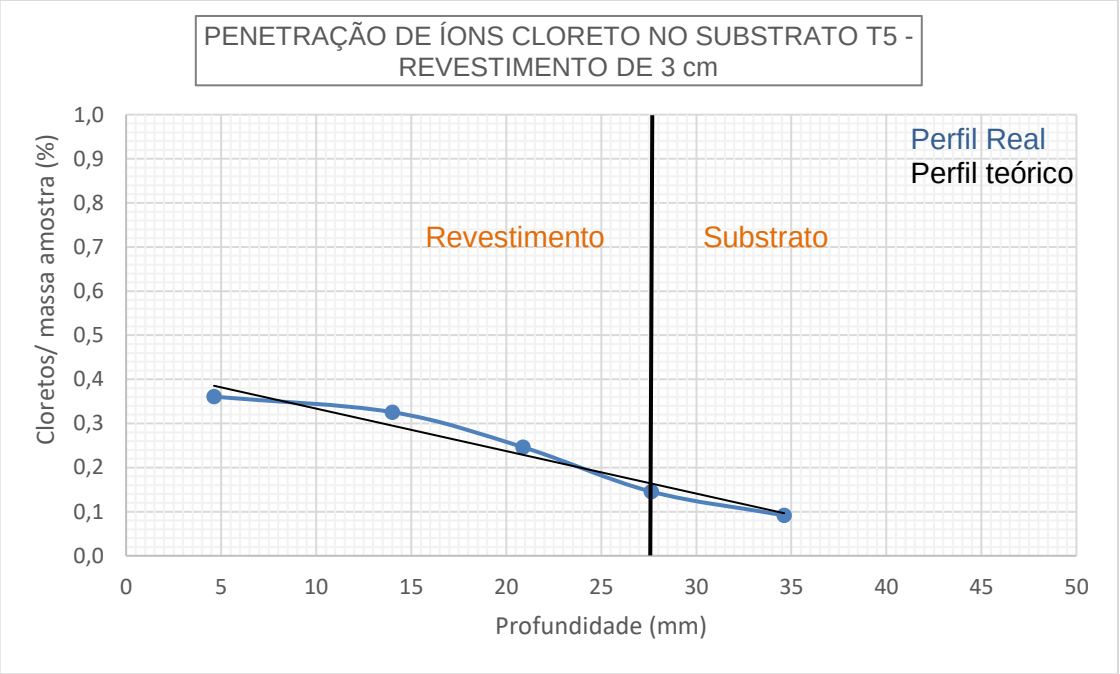


Fonte: Autor.

Loureiro (2013), em sua pesquisa com argamassa para dessalinização de alvenaria mista de um edifício histórico de Belém do Pará sujeito a efeitos de sais e umidade, encontrou na superfície de exposição do revestimento 0,22%, em sua análise da quantidade de cloretos, em relação à massa do revestimento. Esse valor, se

comparado com os resultados obtidos por Nunes (2022), próximos à superfície do revestimento pode ser considerado elevado e a edificação estará sujeita a manifestações patológicas de eflorescência.

Figura 4.6 – Perfil de íons cloreto no substrato T5, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

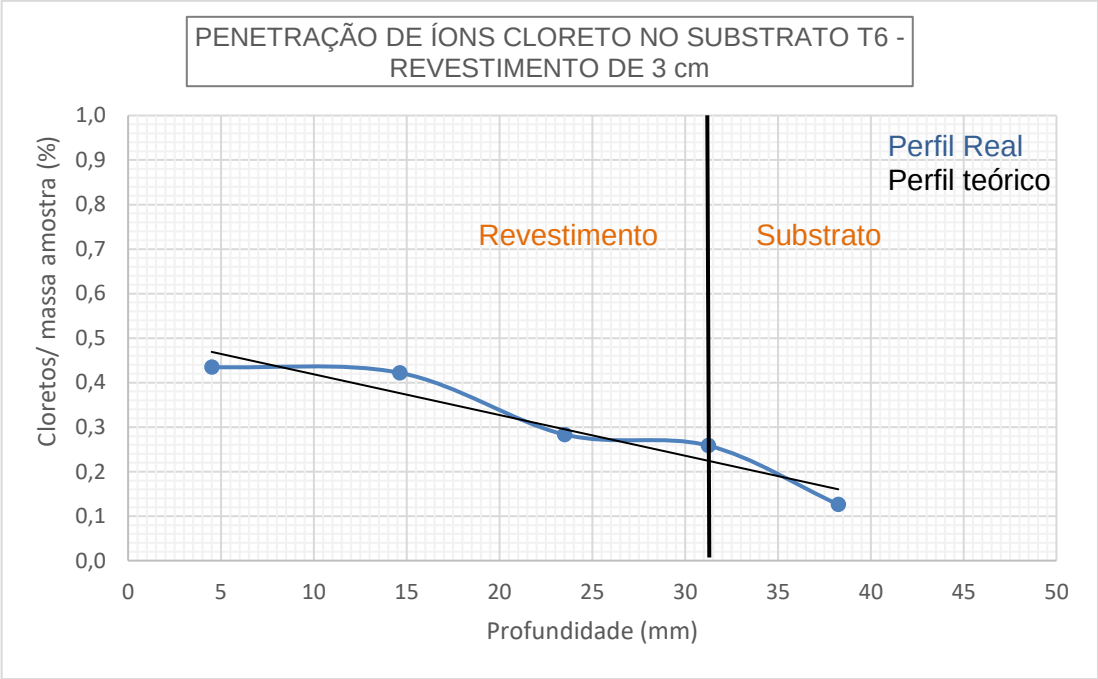
Houve maior concentração de íons cloreto, por migração do substrato de tijolo maciço, novamente, próximo à região da superfície do revestimento de argamassa de saneamento, o que significa que há forte tendência de sucção de íons cloreto de modo a limpar o substrato e evitar manifestações patológicas que venham a comprometer a estabilidade do revestimento. Convém mencionar, que para essas amostras, o revestimento está aprisionando os sais solúveis e impedindo a saída para a superfície a fim de evitar a degradação do material.

O fato de não ter havido pico de concentração de cloretos nesses perfis anteriores pode estar relacionado a espessura do revestimento, pois muito provavelmente, nessa análise, faltou revestimento de argamassa de saneamento para formação do pico e um decréscimo da concentração de cloretos em direção a superfície. Entretanto, não se pode dizer que a argamassa de saneamento não aprisionou os sais de cloreto, visto que não houve nenhum teor de cloretos na superfície do revestimento. Segundo Bourges *et al* (2008), este tipo de concentração de cloretos está relacionado ao fato de o sal ser muito solúvel e pode ser facilmente

transportado para todas as regiões da microestrutura do revestimento e até mesmo do substrato.

Para as amostras de T6 e T11, conforme as Figuras 4.7 e 4.8, o comportamento de penetração dos íons (APÊNDICE 05a) no interior da mistura se mostra equivalente aos demais anteriores. Contudo, houve uma diminuição do teor de cloretos em relação à massa da amostra próximo a superfície do revestimento. Novamente a curva de regressão teórica mostra-se semelhante.

Figura 4.7 – Perfil de íons cloreto no substrato T6, revestimento de 3 cm.



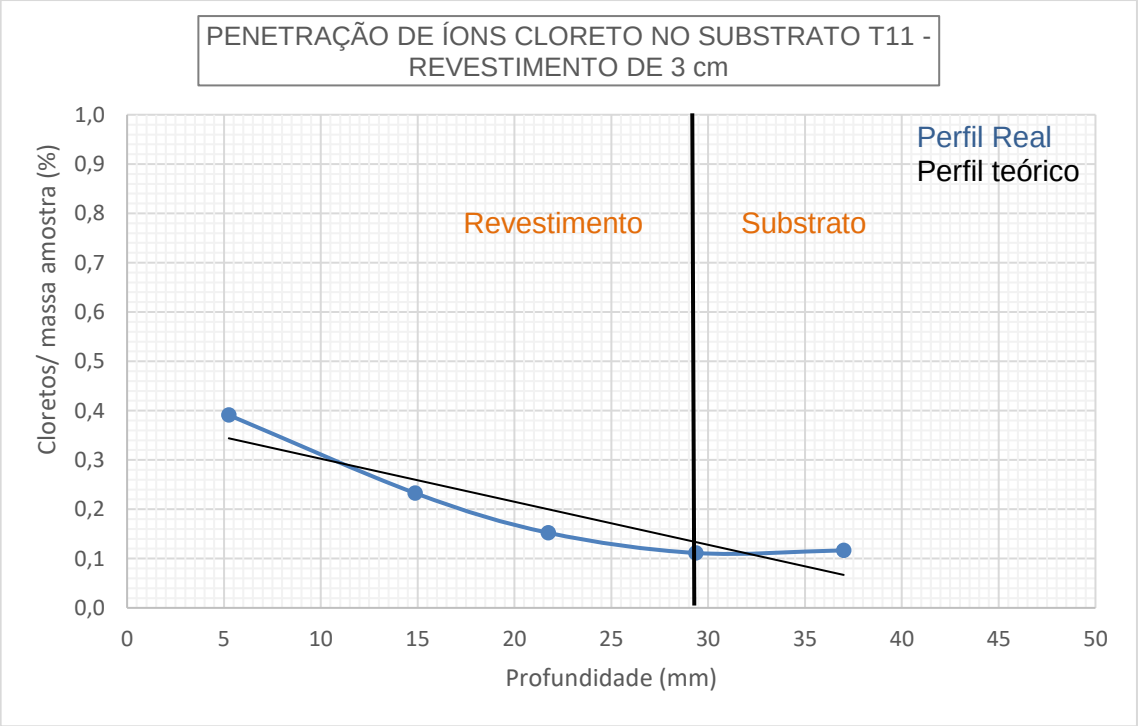
Fonte: Autor.

É possível mencionar que, o revestimento de 3 cm do substrato altamente contaminado com solução salina, para essas amostras, esteja cumprindo com o seu objetivo, o aprisionamento dos cloretos no interior da massa de argamassa de saneamento. A não chegada à superfície, por parte dos sais, implica na não deterioração ou retardamento da deterioração do revestimento, o que faz com que aumente a durabilidade. Para regiões onde a concentração de sais solúveis é alta, há possibilidade de transporte e deposição, como em ambientes litorâneos, costeiros e portuários, portanto o revestimento de 3 cm se mostra adequado para aplicação até o presente momento.

Nunes (2022), em seu ponto de coleta “L4”, apresentou um perfil de penetração de íons cloreto com profundidade de até 44 mm parecido ao obtido em T6. Novamente

a diferença está no substrato altamente contaminado do revestimento T6 e de um reboco já em utilização, em um prédio histórico, mas o comportamento dos sais solúveis no interior da argamassa de saneamento se assemelha. Basicamente, até a profundidade de 44 mm, pode-se dizer que o revestimento, do ponto de coleta “L4”, obtinha a mesma espessura. Assim como a curva de movimentação observada mostrou que o percentual de retenção de íons cloreto foi muito baixo e com tendência a zerar junto ao substrato de alvenaria, ou seja, a retenção de íons cloreto ocorreu somente no interior da argamassa.

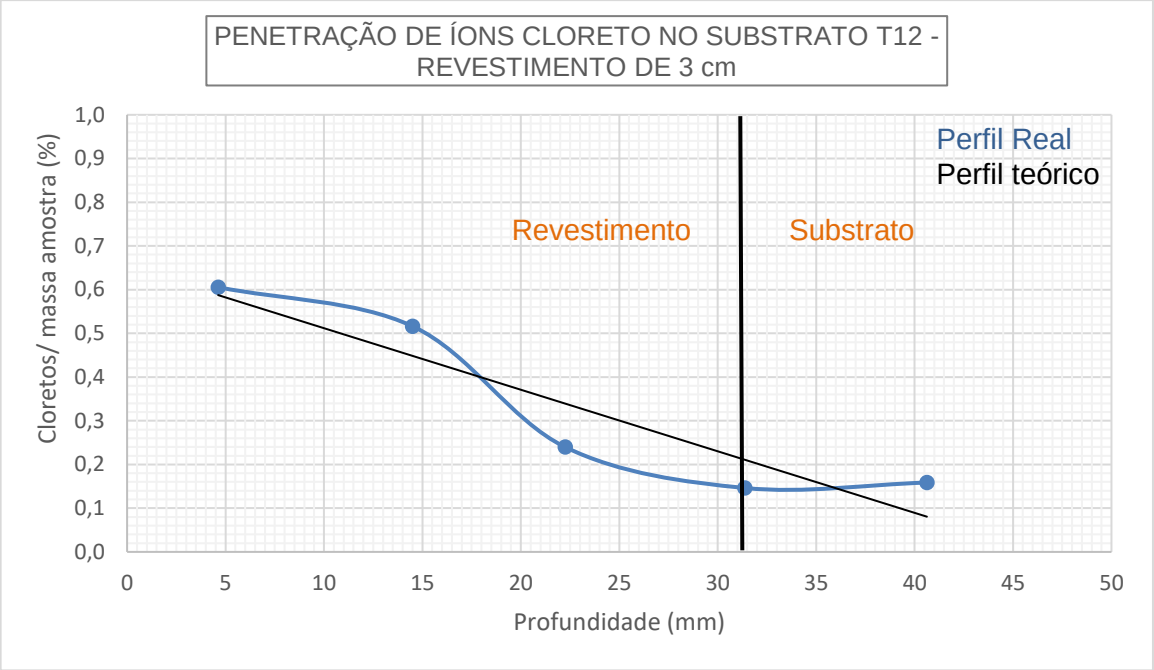
Figura 4.8 – Perfil de íons cloreto no substrato T11, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam o perfil de penetração dos íons cloretos em relação à massa da amostra para substratos T12 e T14 (APÊNDICE 05a), ambos de 3 cm de espessura de revestimento. O perfil T12 mostra-se semelhante aos demais conferidos até aqui e o perfil T14 apresenta uma variação, a obtenção de um determinado pico antes da superfície do revestimento, na segunda camada extraída. Esse pico da concentração de cloretos apresenta comportamento esperado do revestimento de argamassa de saneamento frente aos ataques de sais solúveis, com isso a tendência do comportamento é diminuir a concentração em direção a superfície do revestimento.

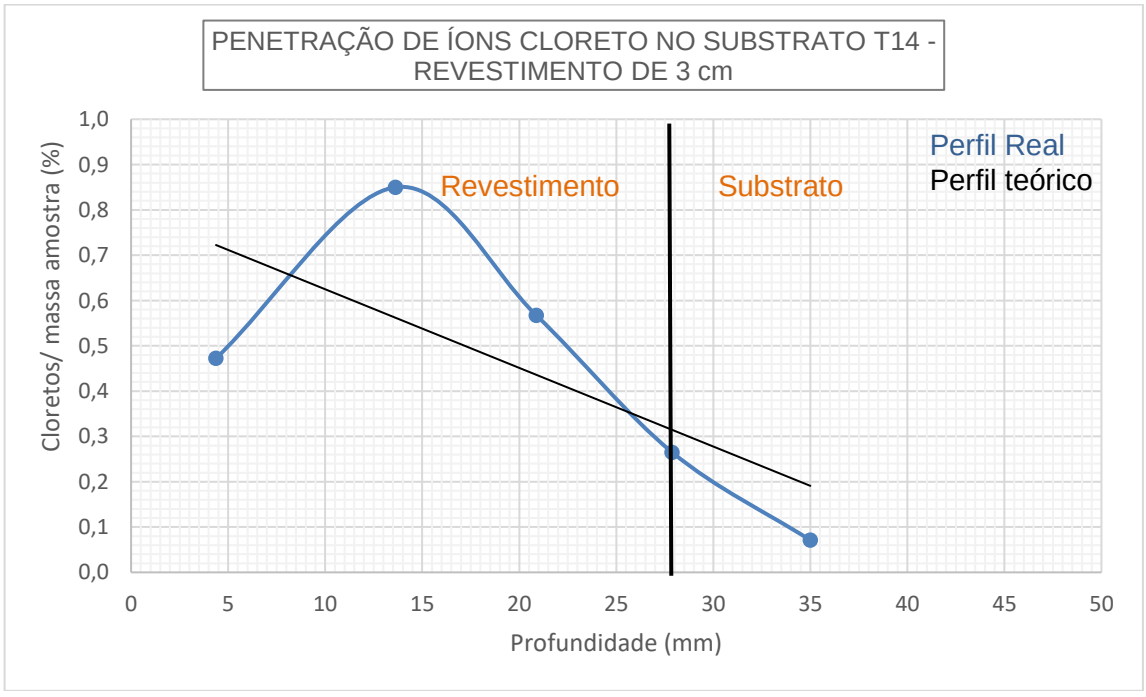
Figura 4.9 – Perfil de íons cloreto no substrato T12, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

Logo, a formação de pico é o melhor resultado esperado. Quando há a formação de pico da concentração dos sais, ao longo da curva de penetração, há forte tendência de que não haverá deterioração com o passar do tempo devido à queda da concentração dos íons em direção a superfície.

Figura 4.10 – Perfil de íons cloreto no substrato T14, revestimento de 3 cm.

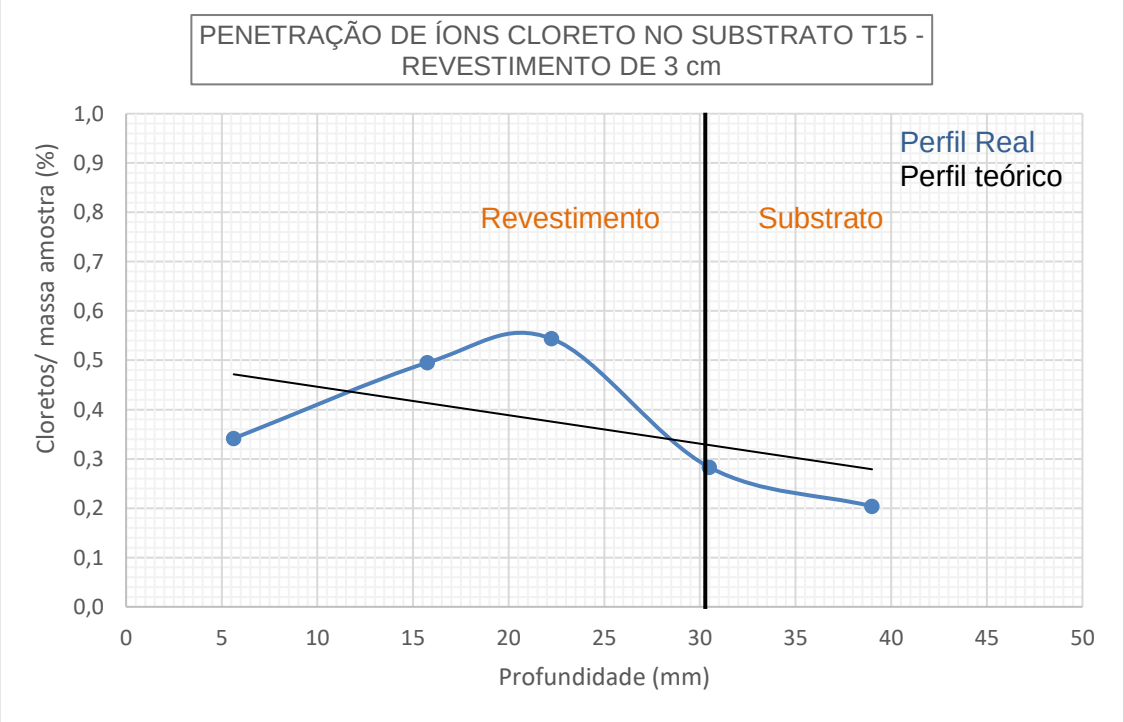


Fonte: Autor.

No ponto de coleta “O2”, da pesquisa de Nunes (2022), comparando com o perfil de comportamento do substrato revestido com argamassa de saneamento T14, a curva de movimentação dos íons cloretos mostrou baixos valores de retenção na superfície e um pico elevado na profundidade de 42mm. Já o pico formado nesse substrato apresentou-se na profundidade de 15 mm. Conforme mencionado pelo autor, a partir deste ponto os valores tenderam a diminuir até ficar bem próximo de zerar no substrato. Na interface de contato do substrato com o revestimento de argamassa de saneamento a concentração de íons cloreto ficou em torno de 0,25% em relação à massa da argamassa. Assim como nos demais substratos, o perfil originado demonstrou que a argamassa de saneamento reteve em seu interior os íons cloretos.

Nas Figuras 4.11 e 4.12 os perfis de comportamento de penetração de cloretos dos substratos T15 e T16 (APÊNDICE 05a) foram bem equivalentes, obtendo-se um pico do percentual de cloretos em relação à massa da amostra próximo a terceira camada de extração, diminuindo em direção a superfície do revestimento. A migração dos sais ocorre da maior profundidade para a menor, passando pela interface de contato do revestimento com o substrato e ficando aprisionado nos poros do revestimento.

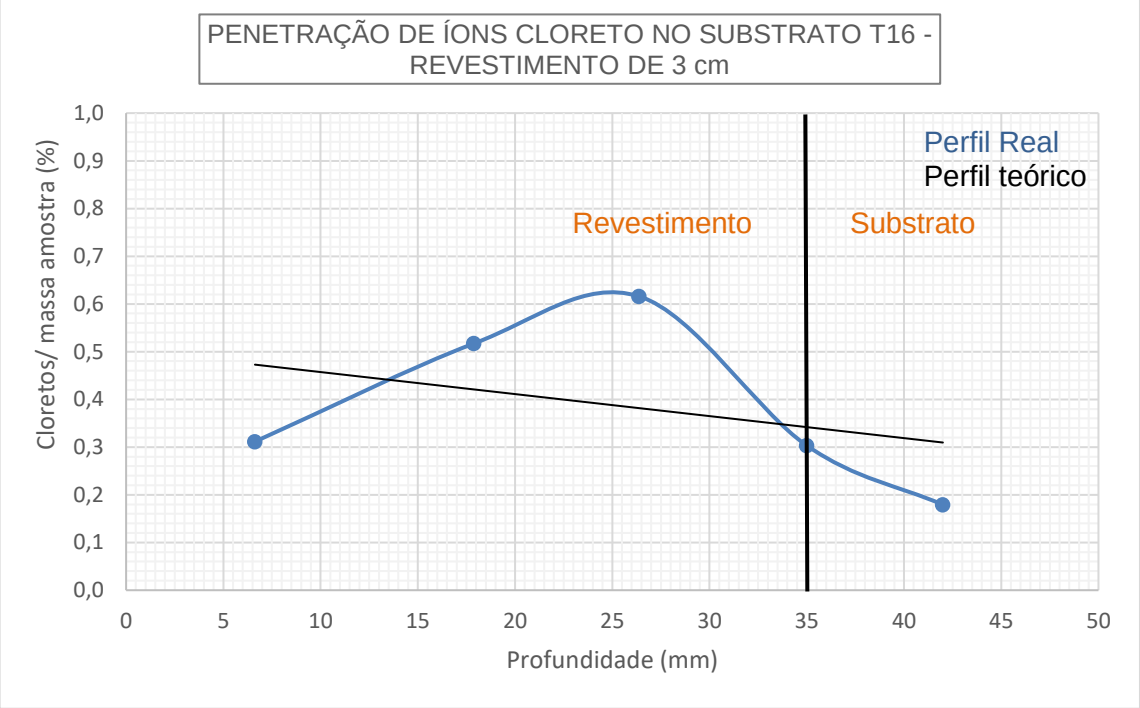
Figura 4.11 – Perfil de íons cloreto no substrato T15, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

Segundo Nunes (2022), quando ocorre o comportamento dos perfis de íons cloretos com a formação de pico no interior da argamassa de saneamento, sem chegar à superfície, possibilita-se concluir que a argamassa está cumprindo com o seu papel de saneamento. Isso acontece pela retenção de sais em seu interior, impedindo a movimentação para o exterior e a, consequente, degradação do revestimento.

Figura 4.12 – Perfil de íons cloreto no substrato T16, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

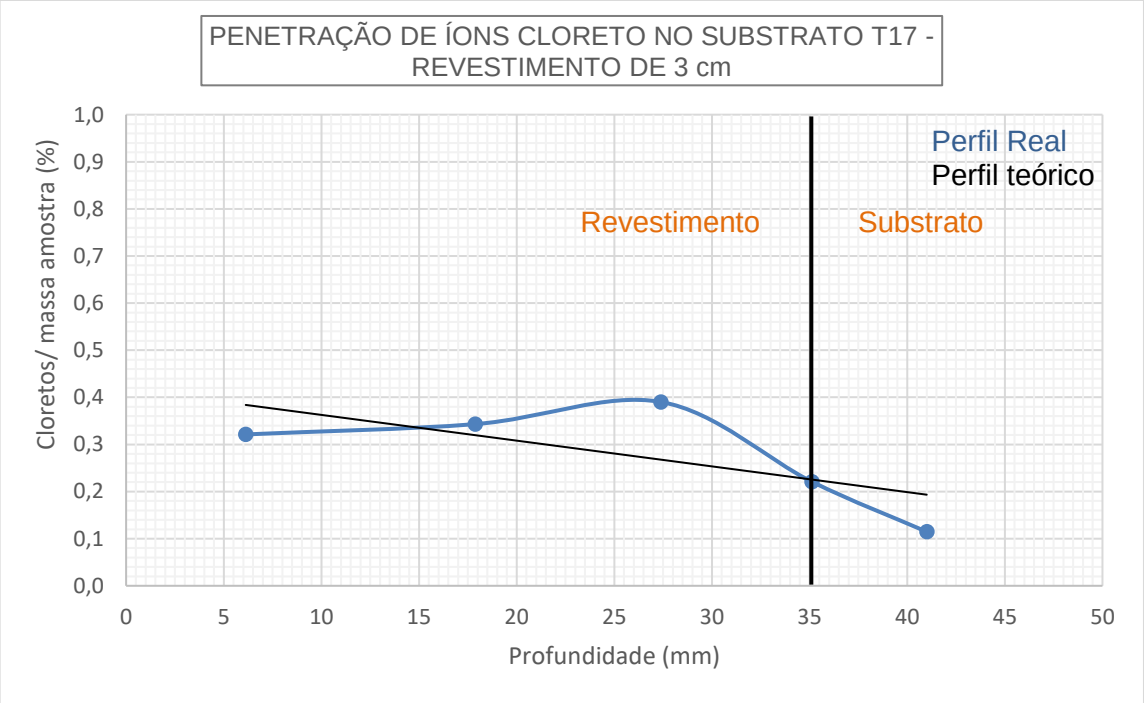
Os demais comportamentos de penetração dos perfis de íons cloretos obtidos, tanto das amostras T17 como T18 e T19 (APÊNDICE 05a) também apresentaram pico na terceira camada de extração, conforme os dois substratos anteriores. Isso significa que a maior concentração de íons cloreto ficou retida bem no meio do revestimento de argamassa de saneamento segundo as Figuras 4.13, 4.14 e 4.15.

Na correlação apresentada entre a espessura da amostra do reboco de argamassa de saneamento retirada da fachada externa da Catedral de São Pedro e a profundidade de ocorrência dos picos de retenção dos íons cloreto, Nunes (2022) observou que para as espessuras menores os picos ocorrem próximos a superfície externa e, à medida que a espessura aumenta ocorre o aumento da profundidade de ocorrência dos picos de retenção de íons cloreto.

Para as espessuras próximas a 3 cm que Nunes (2022) avaliou (que foram de 2,3 e 1,8 cm) encontrou a maior retenção de sal em até 5 mm de profundidade. Neste

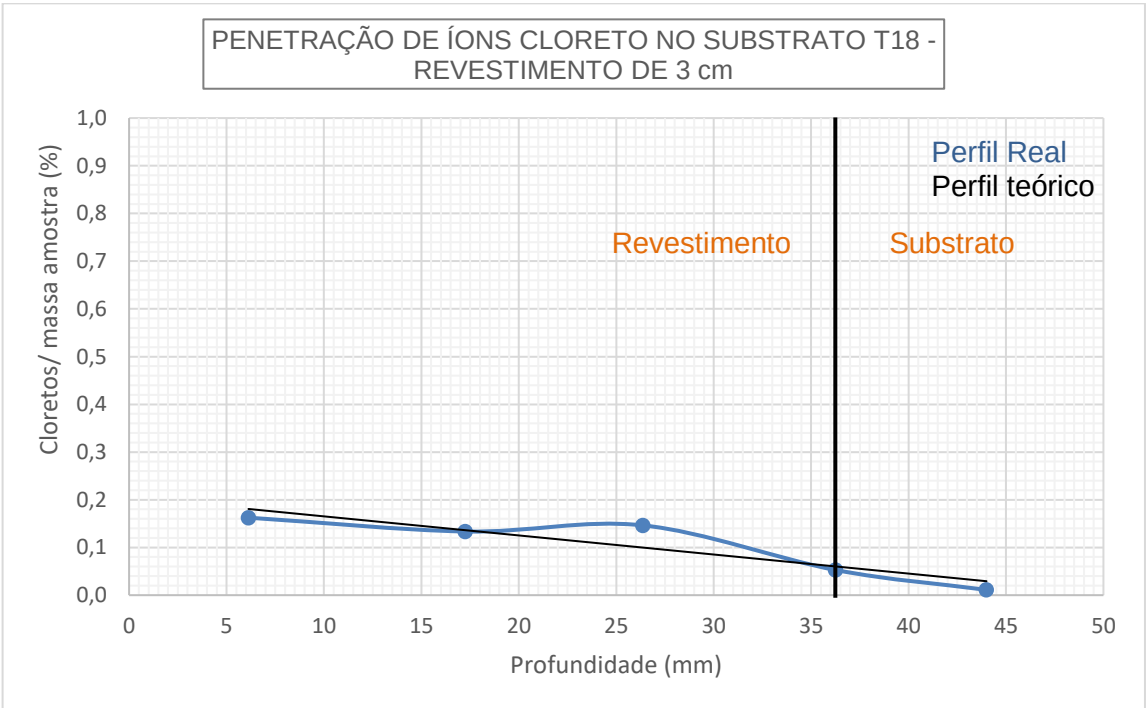
caso, dos substratos revestidos com argamassa de saneamento de 3 cm, exatamente, a maior concentração de sais ocorreu em profundidades de penetração de 15, 20 e 25 mm.

Figura 4.13 – Perfil de íons cloreto no substrato T17, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

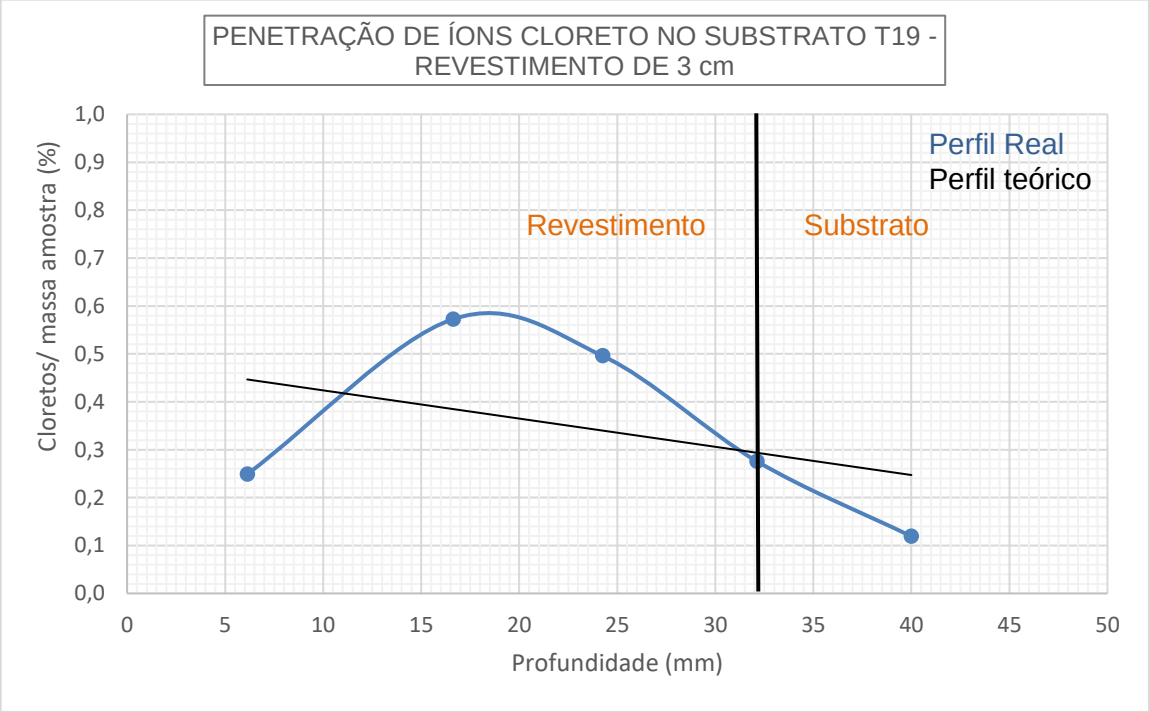
Figura 4.14 – Perfil de íons cloreto no substrato T18, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

O teor de cloretos na interface de contato do revestimento de argamassa de saneamento com o substrato, para o substrato T18, aproxima do zero. Já diretamente no substrato obteve-se praticamente nada de teor de cloretos. A migração de íons cloreto para a argamassa de saneamento, nessa espessura de revestimento, como revestimento de recuperação, é muito alta e se assemelha aos resultados obtidos por Nunes (2022) quando do revestimento em operação.

Figura 4.15 – Perfil de íons cloreto no substrato T19, revestimento de 3 cm.



Fonte: Autor.

Vale salientar que a última camada, da direita para a esquerda, a de profundidade maior, o comportamento se refere ao substrato de tijolo maciço, de onde parte a migração em direção a profundidade zero (superfície). A penúltima camada de profundidade refere-se a interface de contato do substrato com o revestimento de argamassa de saneamento. É notável a migração do substrato para o revestimento. Portando, observa-se que o revestimento de argamassa de saneamento cumpre o papel de aprisionamento de sais solúveis evitando patologias construtivas quando não permite a chegada dos sais a superfície do material. Quando sais não chegam à superfície do revestimento argamassado não ocorre degradação e nem fenômenos de eflorescência (WEBER *et al*, 1996).

O Quadro 4.7 apresenta um resumo dos cálculos que foram obtidos a partir dos resultados para os revestimentos de argamassa de saneamento dos substratos com 3 cm de espessura.

Quadro 4.7 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 3 cm.

RESULTADOS PARA OS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO DE 3 CM DE ESPESSURA							
MÉTODO DE ENSAIO	**TESTEMUNHO (T) 3 cm**	**TEMPO DE CONTAMINAÇÃO**	**TEMPO DE CURA**	**MÉDIA Cl- TOTAIS**	**MÉDIA Cl- REG.**	**CpS (%) MASSA**	**CP (%) MASSA**
Fio de Prata Ag/AgCl	2	120 dias	245 dias	0,308	0,307	0,654	0,654
	3			0,203	0,204	0,648	0,648
	4			0,221	0,221	0,478	0,478
	5			0,234	0,235	0,361	0,361
	6			0,305	0,306	0,435	0,435
	11			0,201	0,201	0,391	0,391
	12			0,333	0,333	0,606	0,606
	14			0,445	0,444	0,472	0,850
	15			0,373	0,373	0,342	0,544
	16			0,385	0,386	0,311	0,616
	17			0,278	0,277	0,321	0,390
	18			0,101	0,101	0,162	0,162
	19			0,342	0,342	0,249	0,573

“MÉDIA Cl- TOTAIS” = Média do teor de íons cloreto das cinco camadas extraídas para o testemunho relativo.
“MÉDIA Cl- REG” = Média do teor de íons cloreto para o perfil de cloretos teórico, resultante da regressão.
“CpS (%) MASSA” = Teor de cloretos mais próximo a superfície do revestimento.
“CP (%) MASSA” = Teor do pico da concentração de cloretos.

Fonte: Autor.

Fazendo uma média do percentual de íons cloretos do revestimento de argamassa de saneamento em substrato altamente contaminado, ponto a ponto do perfil, em relação a massa de argamassa, o substrato (testemunho) T14 foi o que mais apresentou taxa de cloretos com 0,445%. O testemunho T18 apresentou a menor variação ao longo do perfil com 0,101% em relação a massa de argamassa. Os substratos que obtiveram maior taxa de cloretos próximos a superfície foram T2, T3 e T12. Alguns desses, a concentração de cloretos coincidiu com a concentração formada no pico indicando que precisaria, talvez, de mais tempo de cura para diminuir em relação a superfície ou verificar se a concentração permaneceria com o mesmo percentual indicado. Nunes (2022), também encontrou em seus perfis algumas concentrações de cloretos próximos a superfície maiores que a concentração no pico, porém em percentuais muito menores devido a taxa de contaminação do local de exposição do reboco de recuperação.

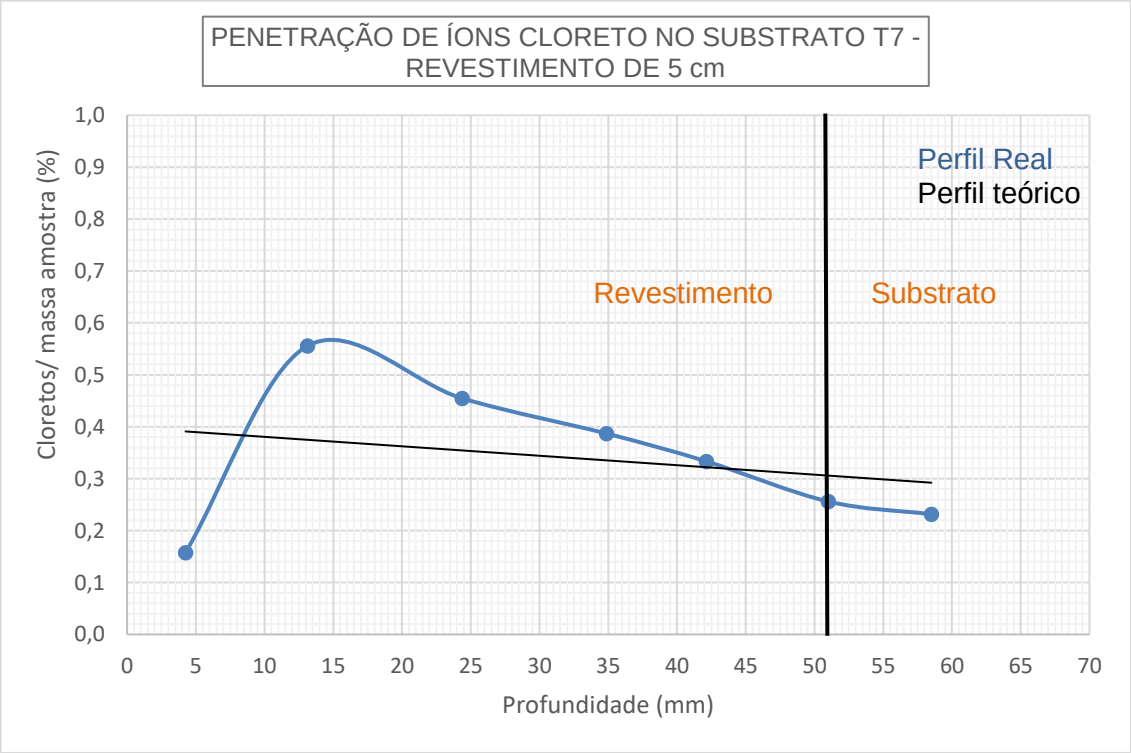
4.4.2 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 5 cm

Os substratos com revestimentos de argamassa de saneamento de 5 cm de espessura apresentaram os melhores resultados no geral, comparando com as demais espessuras de revestimentos. Nenhum deles apresentou cloretos na superfície do revestimento de argamassa de saneamento, apenas próximo à superfície. A formação do pico e a queda brusca da concentração de íons indica um bom aprisionamento dos sais solúveis.

A camada mais profunda refere-se à extração no substrato de tijolo maciço. A penúltima camada refere-se à interface de contato do substrato com a argamassa de saneamento (da direita para a esquerda) e os primeiros cinco pontos são de atuação do revestimento da argamassa de saneamento.

Nas Figuras 4.16 e 4.17 são apresentados os perfis de penetração de íons cloreto nos substratos T7 e T8 (APÊNDICE 05b). Essas duas amostras mostraram a migração dos íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento de forma bastante semelhante no perfil real por potenciometria volumétrica.

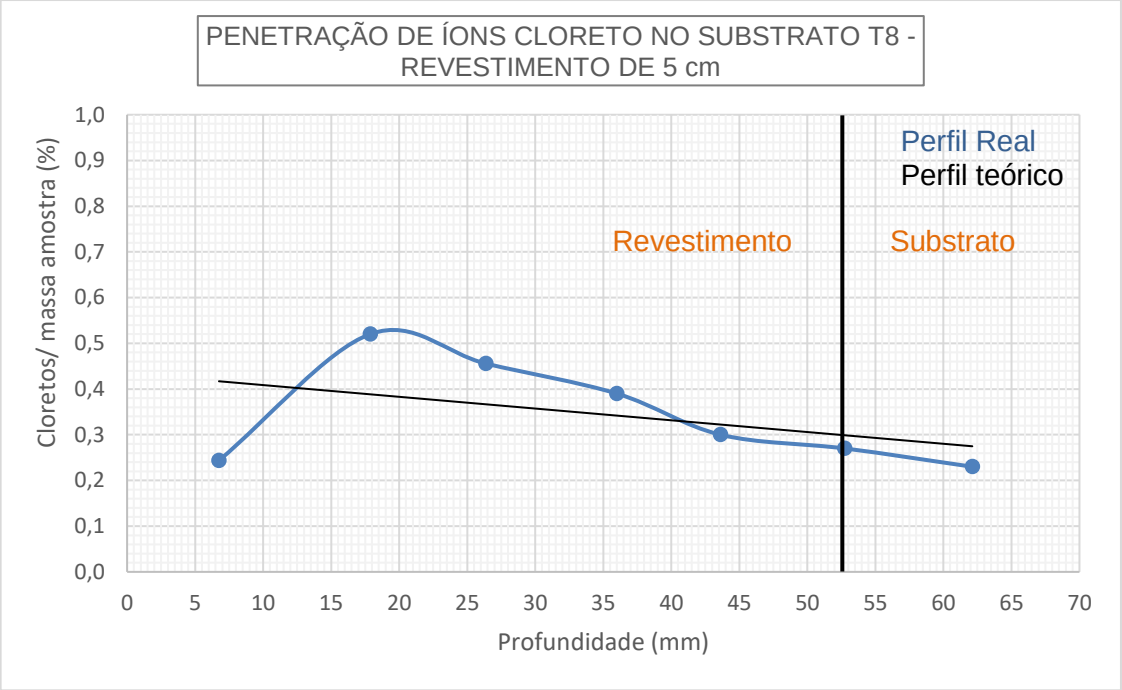
Figura 4.16 – Perfil de íons cloreto no substrato T7, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

A redução de íons cloreto é brusca quando chega no pico da concentração em quase 0,6% em relação a massa da amostra, passando para aproximadamente 0,15 % em relação a massa da amostra. Esse é o melhor comportamento que se espera do revestimento de argamassa de saneamento para aplicação em prédios deteriorados. Em sua correlação feita a profundidades semelhantes de extração, Nunes (2022), em seus pontos de coleta L1 e O1, do reboco de argamassa de saneamento da Catedral de São Pedro apresentou os maiores picos de concentração de cloretos em relação à profundidade.

Figura 4.17 – Perfil de íons cloreto no substrato T8, revestimento de 5 cm.

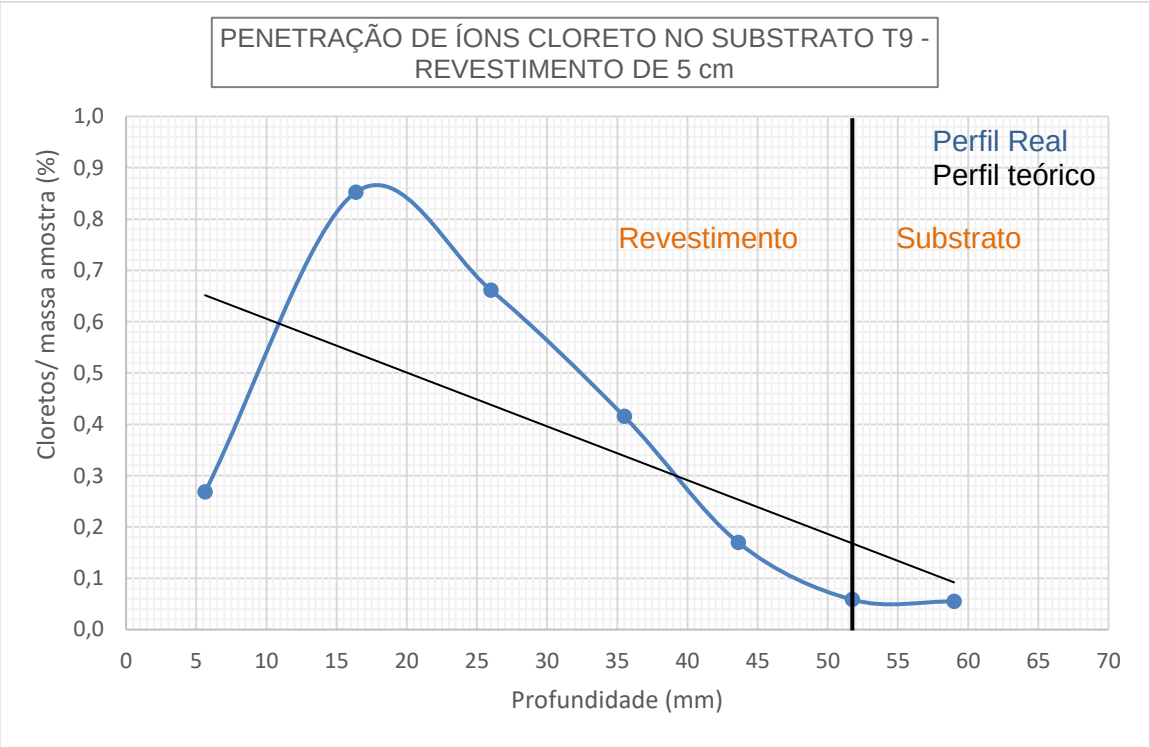


Fonte: Autor.

Os substratos T9 e T10 (Figuras 4.18 e 4.19), também não obtiveram a presença de cloretos (APÊNDICE 05b) na superfície dos revestimentos de argamassa de saneamento e apresentaram um pico elevado próximo à superfície. Os picos foram muito maiores que os testemunhos T7 e T8, assim como a queda brusca da concentração de íons cloretos em relação a superfície do revestimento da argamassa de saneamento. Segundo Nunes (2022), a espessura do revestimento e a porosidade são fatores determinantes na retenção dos sais e na condição necessária para que uma argamassa de saneamento possa ser considerada uma barreira efetiva. A barreira efetiva está relacionada a não cristalização desses sais solúveis na superfície do

revestimento de recuperação, o que aceleraria manifestações patológicas em rebocos contribuindo para a degradação do material.

Figura 4.18 – Perfil de íons cloreto no substrato T9, revestimento de 5 cm.



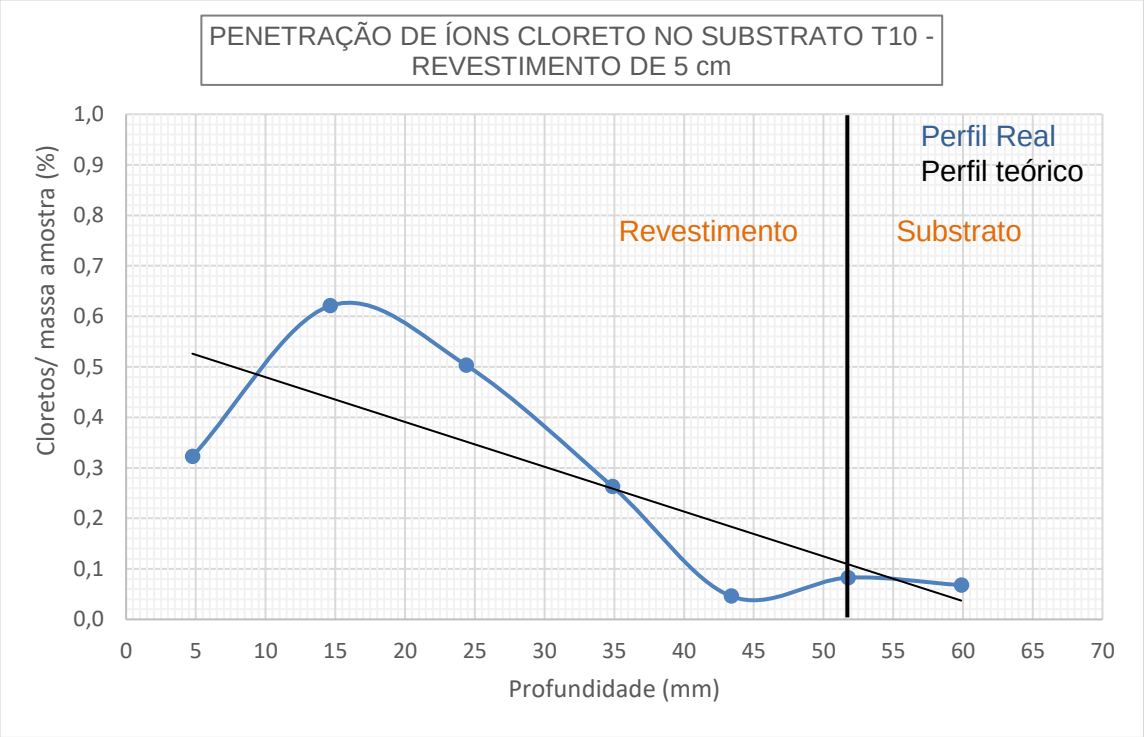
Fonte: Autor.

No perfil real do substrato revestido com argamassa de saneamento T9 a concentração de íons cloreto chegou a mais de 80% em relação à massa da amostra analisada apenas para a argamassa de saneamento e a uma profundidade de 17 mm. O perfil teórico indica que a argamassa de saneamento faz com que ocorra a migração crescente dos cloretos em direção ao revestimento de argamassa de saneamento, mas ficando retidos em meio a mistura do material. A queda relativamente alta da concentração de íons cloretos em direção a superfície indica que, a tendência com o passar do tempo, é diminuir ainda mais. De acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA (1995) A eficiência das argamassas de saneamento está relacionada a maior formação de vazios durante o seu endurecimento, devido a carbonatação da cal, das reações químicas da sílica do cimento, das adições pozolânicas e do uso do aditivo incorporador de ar.

Já no substrato com revestimento de argamassa de saneamento T10 a concentração de íons cloreto ultrapassou os 60% de ataque em relação à massa da amostra, no pico, fazendo com que haja a redução da concentração em direção a

superfície para a ordem de 0,3%. O perfil de regressão teórico também mostra, de forma crescente, a migração dos cloretos no sentido da argamassa de saneamento, mas a 5 mm de distância da superfície do material.

Figura 4.19 – Perfil de íons cloreto no substrato T10, revestimento de 5 cm.

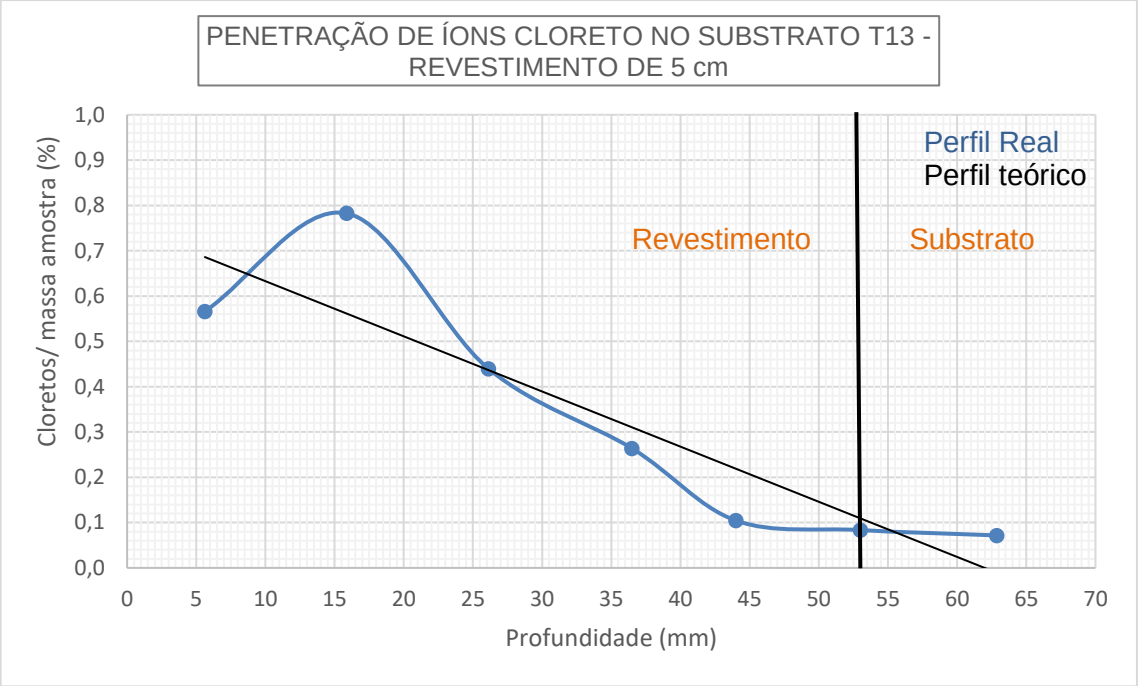


Fonte: Autor.

Os perfis de penetração de íons cloreto dos substratos T13 e T20, ilustrados nas Figuras 4.20 e 4.21, em seu perfil real experimental, apresentaram forte tendência de migração crescente do substrato para a argamassa de saneamento (APÊNDICE 05b). Novamente surge a formação do pico e a queda abrupta da concentração de cloretos. Essa concentração reduzida fica próximo a profundidade de 1,5 cm da superfície do revestimento de argamassa de saneamento.

Verifica-se que, até o momento, o substrato apresenta contaminação de íons cloreto menor que 0,1 %. A argamassa de saneamento faz com que ocorra forte tendência de migração para o interior da mistura de argamassa, incluindo o aprisionamento dos sais. Segundo Nunes (2022) estes resultados, de aprisionamento dos íons cloreto no interior da mistura da argamassa de saneamento, elaborada com materiais locais, permitem concluir que a argamassa apresenta um bom desempenho como barreira de proteção.

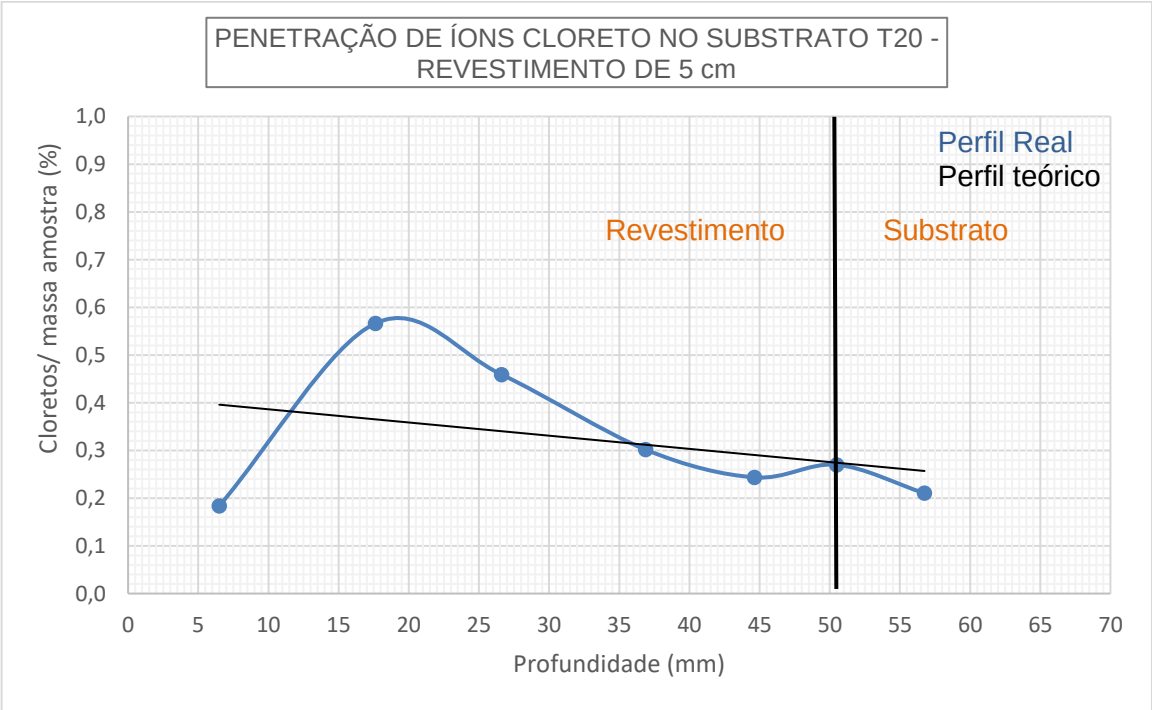
Figura 4.20 – Perfil de íons cloreto no substrato T13, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

O substrato T20, na sua camada de contato da interface do substrato com a argamassa de saneamento, também teve pico de concentração de cloretos, porém de forma leve e com concentração muito inferior do percentual de íons cloreto na argamassa de revestimento.

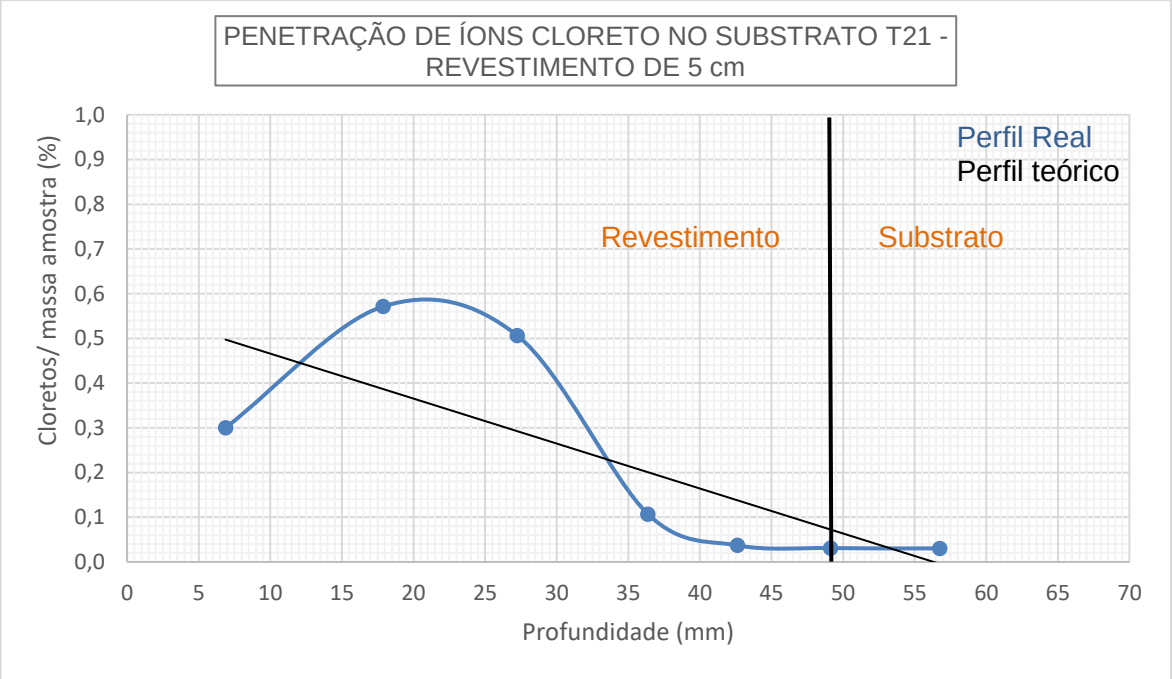
Figura 4.21 – Perfil de íons cloreto no substrato T20, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

O comportamento dos íons cloreto e sua migração para a argamassa de saneamento dos substratos T21 e T23 (APÊNDICE 05b), indicados nas Figuras 4.22 e 4.23, também ocorreram de forma crescente em direção a superfície do revestimento (mostrado de melhor forma através do perfil teórico elaborado por erro de regressão) com um teor de cloretos totais no pico menor que os anteriores, contudo mostrando que os sais solúveis, para este tipo de revestimento, com espessura de 5 cm, mantém o aprisionamento dos sais e reduz a concentração de cloretos, em relação a massa da argamassa, em direção a superfície do material. Em conformidade com a pesquisa de Nunes (2022), isso mostra a eficácia do revestimento de recuperação, com espessura de 5 cm, aprisionando os cloretos sem deixá-los chegar à superfície e tornando-se um material que pode ser usado como barreia física e uma barreira interna frente as deteriorações em ambientes com alta concentração de sais derivados da atmosfera marinha.

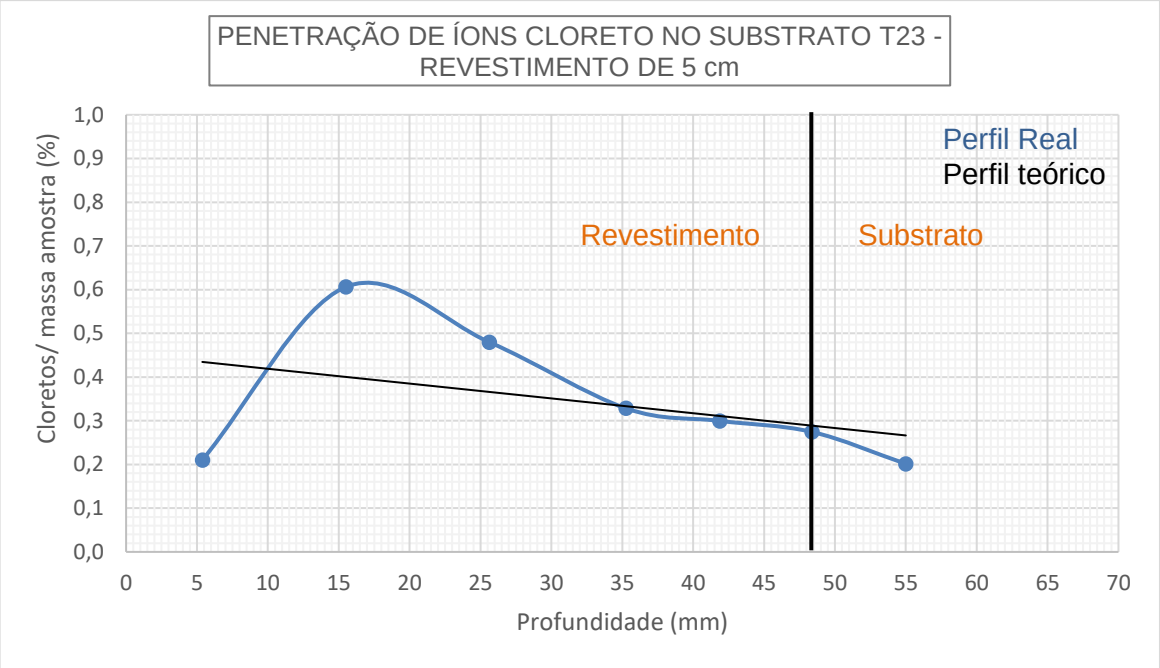
Figura 4.22 – Perfil de íons cloreto no substrato T21, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

Um dos pontos de coleta, o qual Nunes (2022) extraiu revestimento de argamassa de saneamento, até a profundidade de 70 mm, na Catedral de São Pedro, obteve resultados bem semelhantes ao encontrado no substrato revestido com argamassa de saneamento T21. Onde o pico da concentração se localizou quase a 20 mm da superfície e vindo quase que a zerar a concentração no substrato.

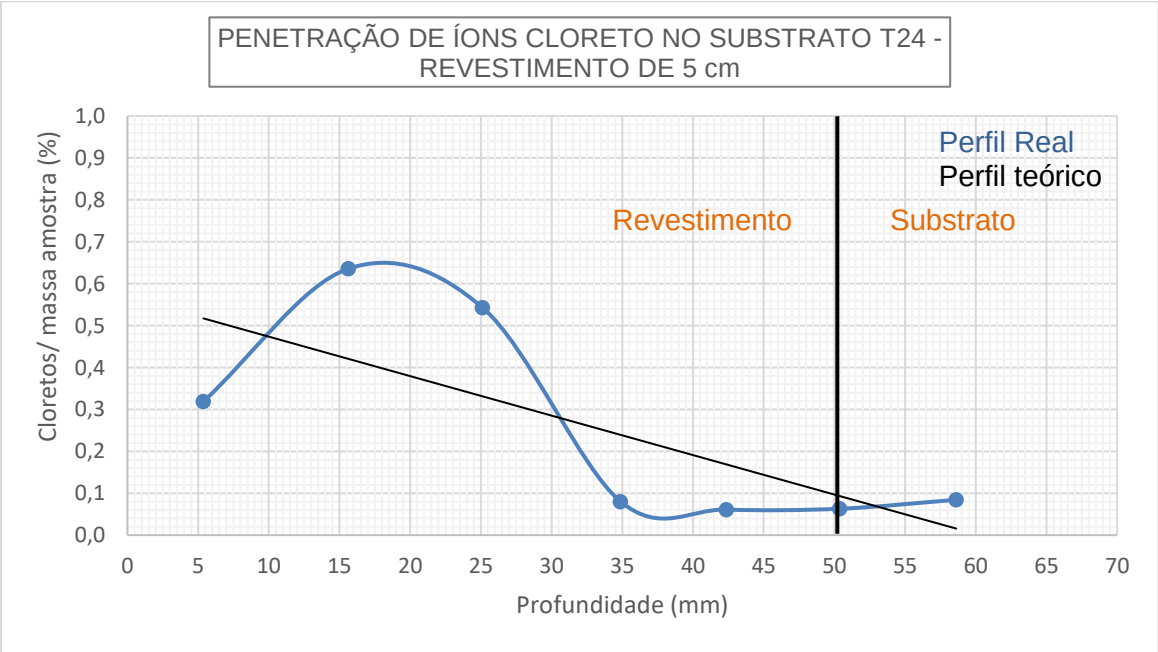
Figura 4.23 – Perfil de íons cloreto no substrato T23, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

As Figuras 4.24 e 2.25 apresentam os perfis de penetração de cloretos em relação à profundidade de penetração nos substratos T24 e T25 (APÊNDICE 05b), ambos com revestimentos de argamassa de saneamento de 5 cm de espessura. A curva de regressão do perfil teórico apresenta migração de íons crescente para a argamassa de saneamento.

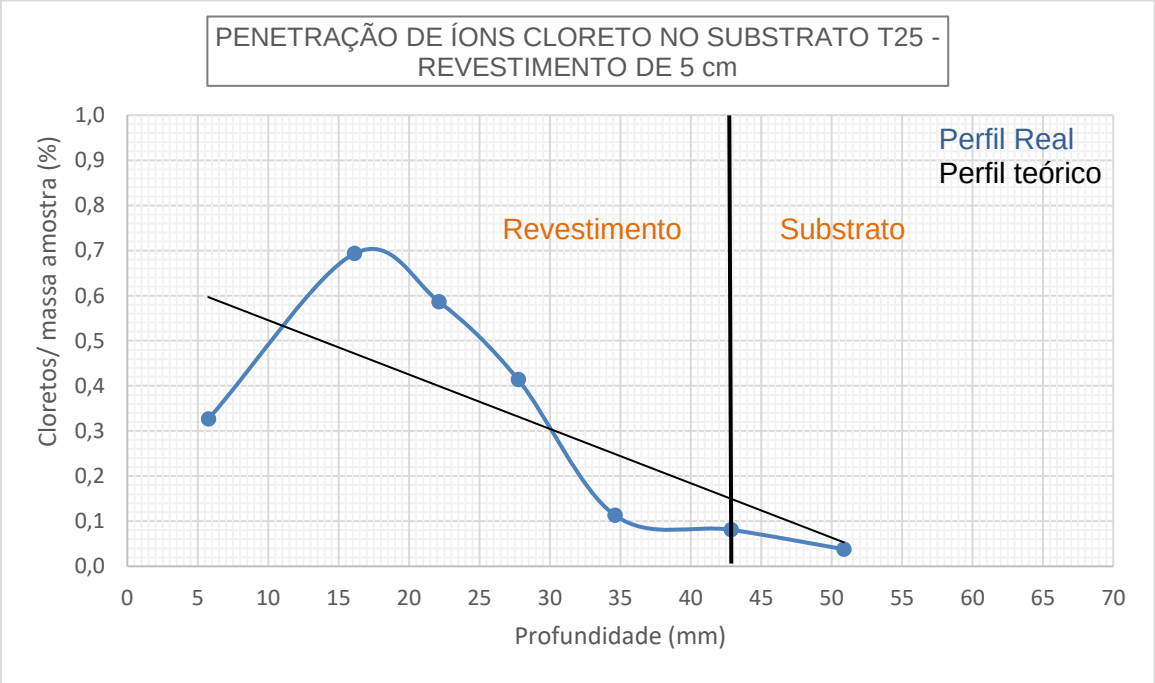
Figura 4.24 – Perfil de íons cloreto no substrato T24, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

E a curva de penetração da concentração de cloretos real também mostra a redução da concentração após a formação do pico de concentração de íons cloreto totais, favorecendo o revestimento de argamassa de saneamento com 5 cm de espessura de revestimento. Da mesma forma que o comportamento encontrado no substrato T21 e na amostra L1, apresentada na pesquisa de Nunes (2022), o substrato com revestimento de argamassa de saneamento T25 obteve valor próximo de zero no substrato e maior aprisionamento dos sais a uma distância de aproximadamente 18 mm. Na interface de contato do revestimento com argamassa de saneamento e com o substrato de tijolo maciço a concentração de íons cloreto é relativamente baixa, cerca de menos de 0,1% em relação a massa da amostra analisada.

Figura 4.25 – Perfil de íons cloreto no substrato T25, revestimento de 5 cm.



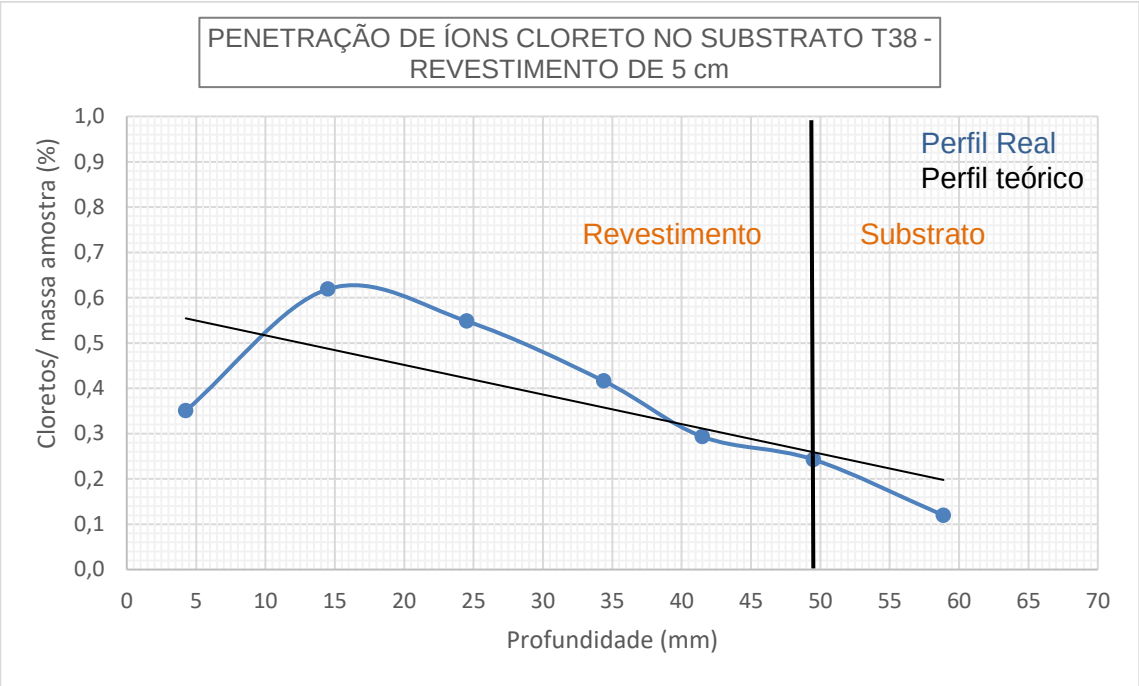
Fonte: Autor.

Por fim, com relação aos substratos revestidos com a argamassa de saneamento de 5 cm de espessura, as Figuras 4.26 e 4.27, apresentam o comportamento dos perfis de íons cloreto nos substratos T38 e T39 (APÊNDICE 05b).

Esses dois comportamentos de perfis de íons cloreto mostraram-se bem parecidos do ponto de vista do percentual de íons cloreto no pico e sua queda em direção a face externa do material, assim como na interface de contato do substrato com a argamassa de saneamento e apenas no substrato. O percentual muito pequeno de contaminação no substrato de tijolo maciço indica que grande parte do alto teor de

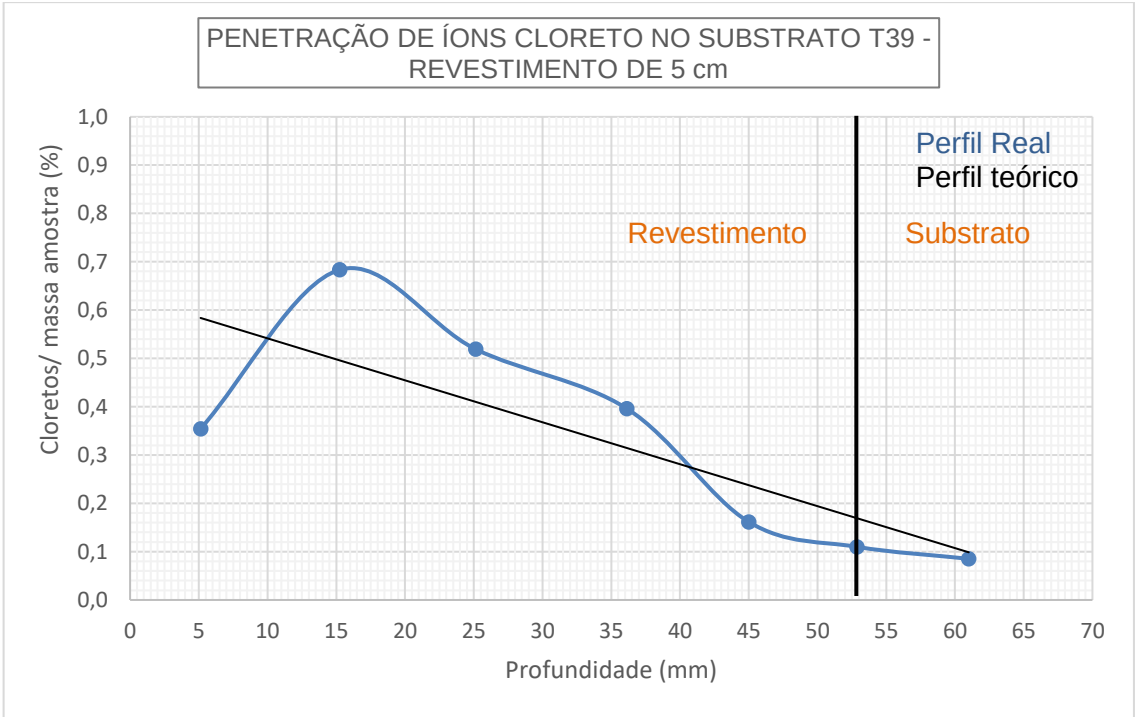
concentração realizado no substrato migrou e permaneceu retido no interior da mistura da argamassa de saneamento.

Figura 4.26 – Perfil de íons cloreto no substrato T38, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

Figura 4.27 – Perfil de íons cloreto no substrato T39, revestimento de 5 cm.



Fonte: Autor.

Os resultados para a espessura de revestimento de 5 cm mostraram-se os melhores possíveis, de acordo também com as considerações apontadas por Nunes (2022) em sua pesquisa, visto que não houve a presença de cloretos na superfície dos revestimentos de argamassa de saneamento e todos os comportamentos dos perfis de cloretos encontram-se aprisionados no interior da argamassa de saneamento pela redução acentuada do teor, em direção a face externa do material, após o pico.

O Quadro 4.8 apresenta um resumo dos cálculos dos resultados obtidos para os revestimentos de argamassa de saneamento dos substratos revestidos com 5 cm de espessura.

Quadro 4.8 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 5 cm.

RESULTADOS PARA OS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO DE 5 CM DE ESPESSURA							
MÉTODO DE ENSAIO	**TESTEMUNHO (T) 5 cm**	**TEMPO DE CONTAMINAÇÃO**	**TEMPO DE CURA**	**MÉDIA Cl- TOTAIS**	**MÉDIA Cl- REG.**	**CpS (%) MASSA**	**CP (%) MASSA**
Fio de Prata Ag/AgCl	7	120 dias	245 dias	0,339	0,340	0,158	0,556
	8			0,344	0,343	0,244	0,520
	9			0,354	0,354	0,268	0,852
	10			0,272	0,271	0,322	0,621
	13			0,330	0,329	0,566	0,783
	20			0,319	0,318	0,184	0,567
	21			0,226	0,225	0,300	0,571
	23			0,343	0,343	0,210	0,606
	24			0,255	0,256	0,319	0,636
	25			0,322	0,323	0,326	0,693
	38			0,370	0,371	0,351	0,619
	39			0,330	0,329	0,354	0,683
“MÉDIA Cl- TOTAIS” = Média do teor de íons cloreto das cinco camadas extraídas para o testemunho relativo. “MÉDIA Cl- REG” = Média do teor de íons cloreto para o perfil de cloretos teórico, resultante da regressão. “CpS (%) MASSA” = Teor de cloretos mais próximo a superfície do revestimento. “CP (%) MASSA” = Teor do pico da concentração de cloretos.							

Fonte: Autor.

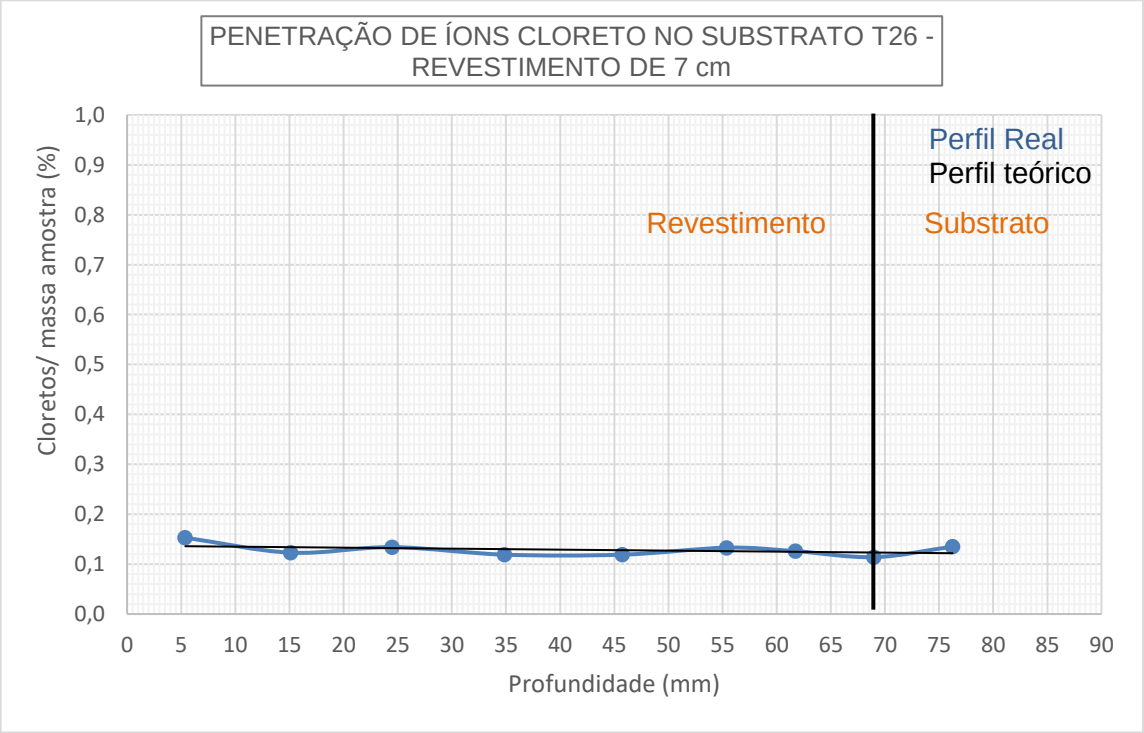
A média de cloretos totais, em relação aos substratos revestidos com argamassa de saneamento com espessura de 3 cm, ficou bem abaixo da maior média, que foi de 0,445% em relação a massa da amostra, do revestimento de menor espessura. Isso confirma a colocação de Nunes (2022), em que diz que quanto menor a espessura de revestimento de argamassa de saneamento maior será a taxa da concentração de íons cloreto. Nenhum testemunho apresentou teor de cloretos como o substrato T18, com espessura de 3 cm, com concentração de 0,101% em relação a massa de argamassa. Todos os substratos obtiveram concentrações de cloretos, nessa espessura, próximo a superfície do revestimento, diminuídos após a formação do pico (a maior taxa de concentração de íons). Para essas profundidades de penetração, Nunes (2022), obteve

resultados parecidos, entretanto após a formação da maior concentração de cloretos e mais próximo a face externa do material o percentual de íons cloreto chegou a zerar. Esse fato se deve pelo tempo de cura do material, onde em sua pesquisa o tempo passou dos 20 anos da aplicação e o substrato não estava altamente contaminado. Esse revestimento, até o momento, foi o que apresentou melhor comportamento do ponto de vista da retenção de íons cloreto, onde todos se comportaram de forma semelhante. Mesmo com a alta concentração de contaminação e em 245 dias de ataque o comportamento, em direção a superfície, tende a diminuir com o passar do tempo.

4.4.3 Obtenção dos perfis de penetração de íons cloreto para os substratos com revestimentos de 7 cm

A seguir serão apresentados os comportamentos dos perfis de penetração de íons cloreto nos substratos com revestimentos de argamassa de saneamento que possuem 7 cm de espessura. As Figuras 4.28, 4.29 e 4.30 mostram os gráficos referentes aos primeiros comportamentos (APÊNDICE 05c) frente ao ataque dos sais solúveis dos substratos para o revestimento de argamassa de saneamento.

Figura 4.28 – Perfil de íons cloreto no substrato T26, revestimento de 7 cm.

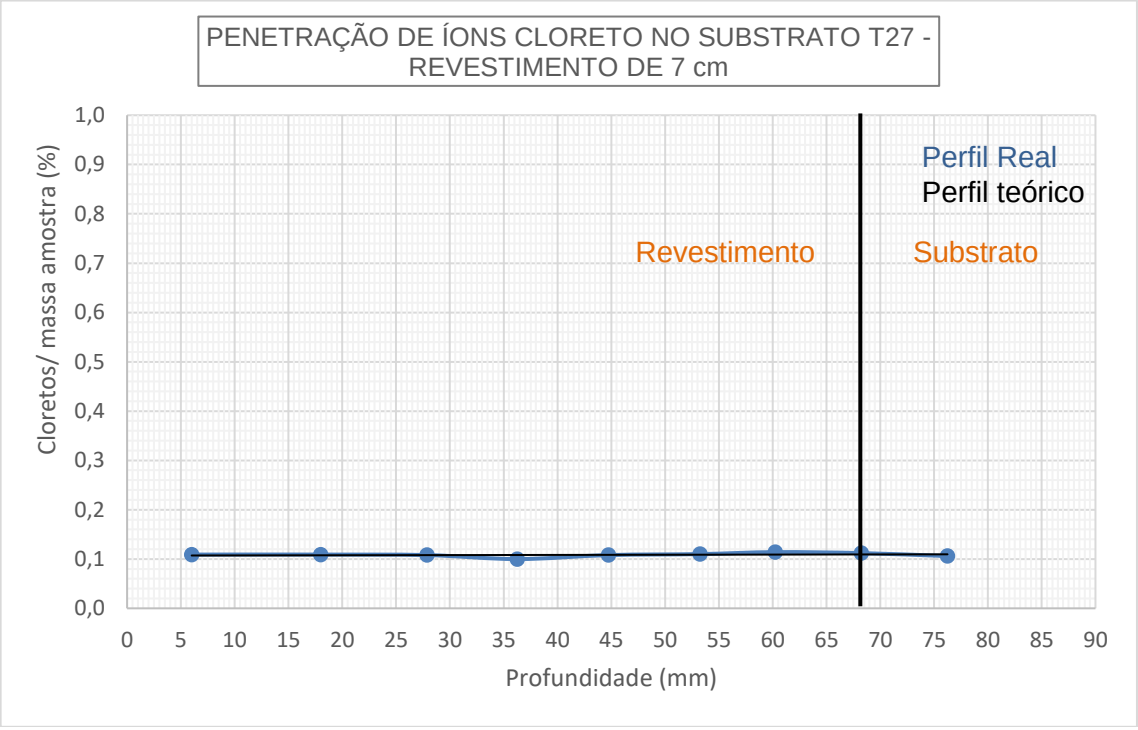


Fonte: Autor.

O comportamento da migração dos íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento dos testemunhos T26, T27 e T28 apresentaram-se de modo contínuo durante toda a profundidade de penetração. Houve leves picos de concentração de cloretos durante a migração, contudo nada relevante para afirmar o aprisionamento dos sais no interior do reboco de recuperação.

Esse revestimento de maior espessura de cobrimento dos substratos de tijolo maciço, entre os outros demais do estudo, foi o que mais se comportou de modo diferente. Não implica em dizer que o revestimento de argamassa de saneamento com essa espessura de revestimento ficou inadequada, entretanto a migração dos íons cloretos do substrato para a argamassa de saneamento ocorreu de forma mais constante, com pouca variação e com picos irrelevantes comparado com os revestimentos de espessuras de 3 e 5 cm.

Figura 4.29 – Perfil de íons cloreto no substrato T27, revestimento de 7 cm.

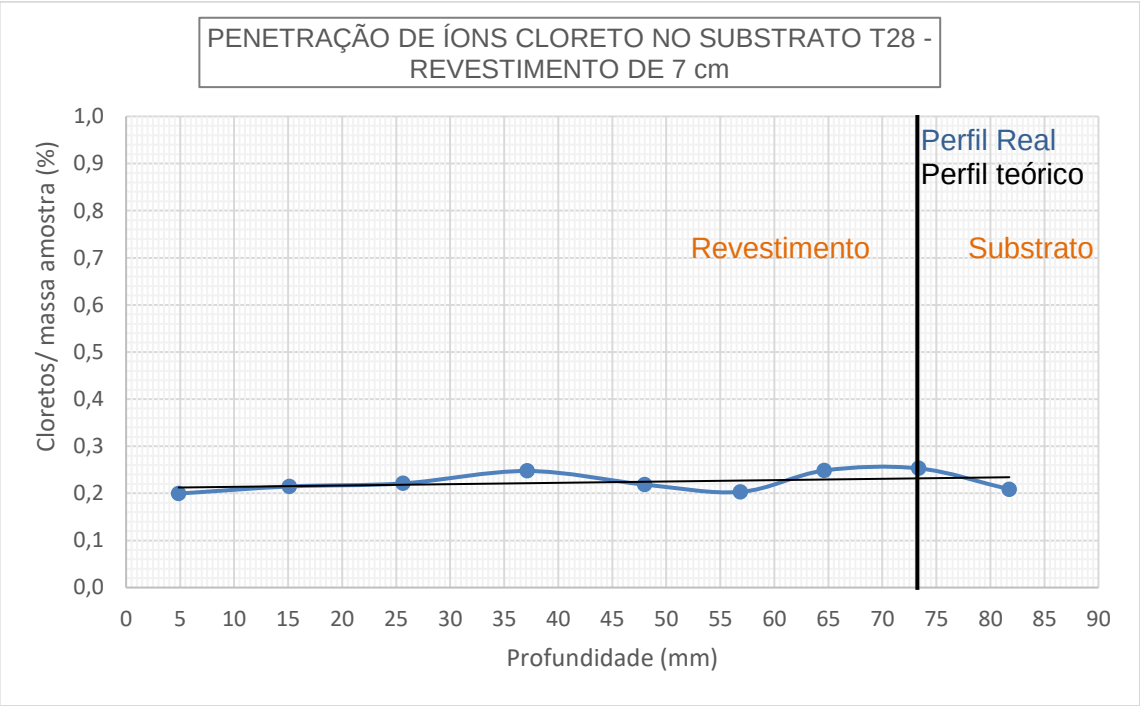


Fonte: Autor.

Nunes (2022), em sua pesquisa com suas coletas em pontos estratégicos da Catedral de São Pedro e posterior análise de migração, não constatou nenhum perfil com comportamento semelhante ao obtido nesses com revestimento de 7 cm de espessura. A constância desses perfis de penetração de cloretos, aos 7 cm de espessura, de revestimento de argamassa de saneamento não são um comportamento

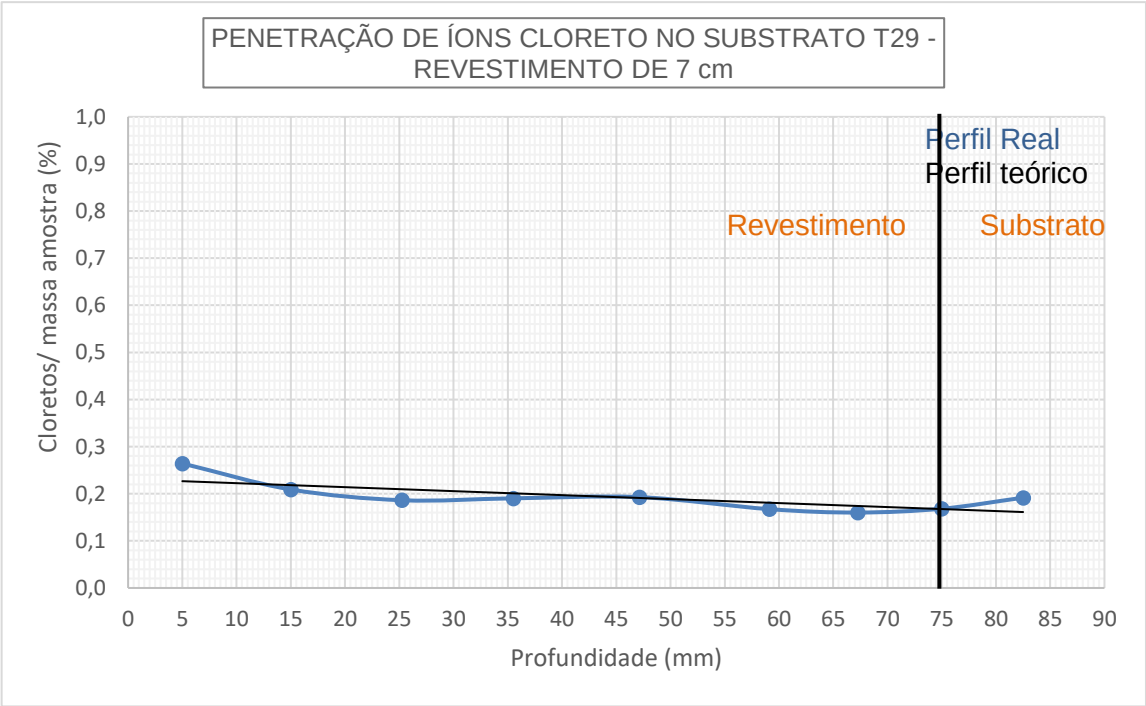
requerido por uma argamassa de recuperação utilizada para reter sais solúveis no interior da mistura.

Figura 4.30 – Perfil de íons cloreto no substrato T28, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

Figura 4.31 – Perfil de íons cloreto no substrato T29, revestimento de 7 cm.

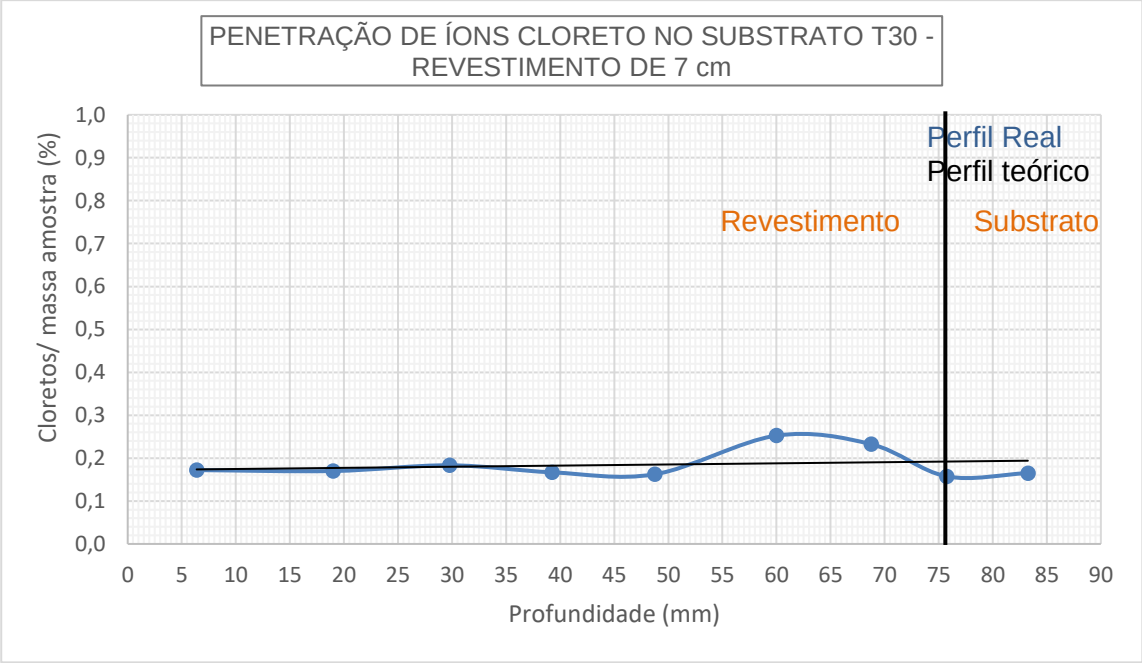


Fonte: Autor.

O testemunho T29 indicou uma leve subida (Figura 4.31) da concentração de íons cloreto próximo a região da face externa do material, além de manter-se constante durante toda a migração e não alcançar a superfície do revestimento. Como o reboco foi aplicado diretamente sobre a base do substrato, Arendt (1995) diz que o chapisco pode exercer é um diferencial para tratamento com reboco de recuperação. Sendo assim, talvez, os revestimentos que apresentam comportamento constante de migração de salinidade, de 7 cm de espessura, pudessem apresentar melhores resultados.

Percebe-se que com o avanço da profundidade a migração dos íons cloreto se mostra quase que constante e pode ser observado de forma mais abrangente pelo perfil teórico da curva de regressão, pelo método dos mínimos quadrados. As Figuras 4.32 e 4.33 representam os perfis de migração dos íons cloreto (APÊNDICE 05c) para os substratos T30 e T31.

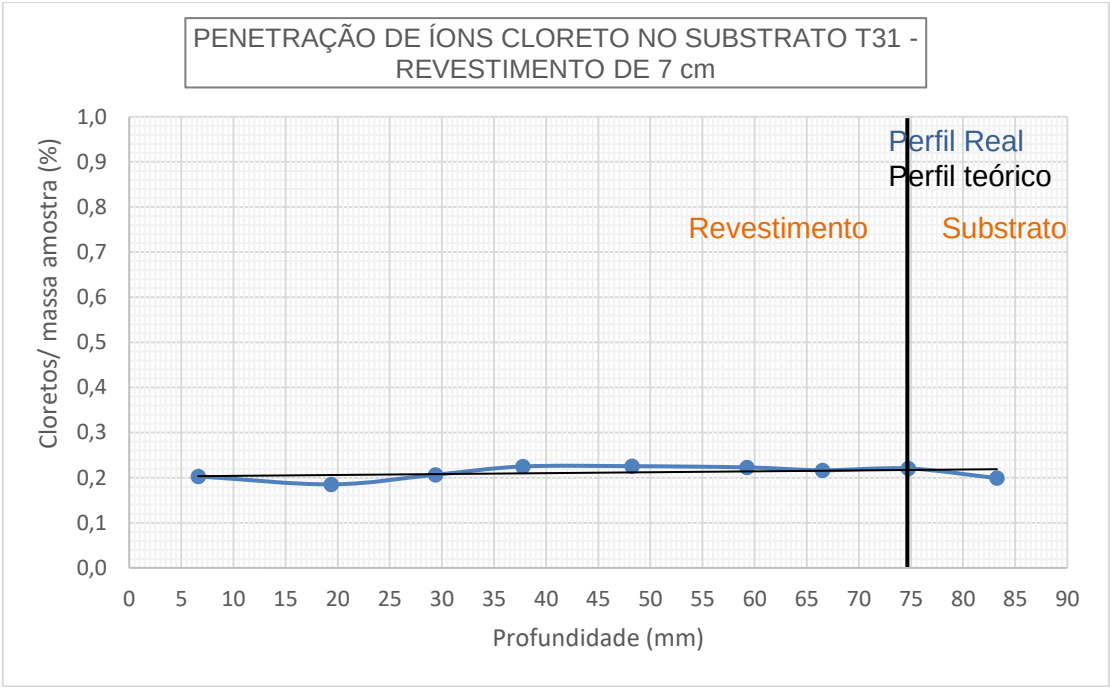
Figura 4.32 – Perfil de íons cloreto no substrato T30, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

No substrato T30 houve um pequeno pico de concentração de cloretos próximo à região de contato da interface do substrato com o revestimento de argamassa de saneamento, atingindo quase 0,3% em relação à massa de análise. Da mesma forma acontece com o perfil do substrato T32 e T33 (Figura 4.34 e 4.35) onde o pico da concentração encontra-se perto da interface de contato entre os dois materiais.

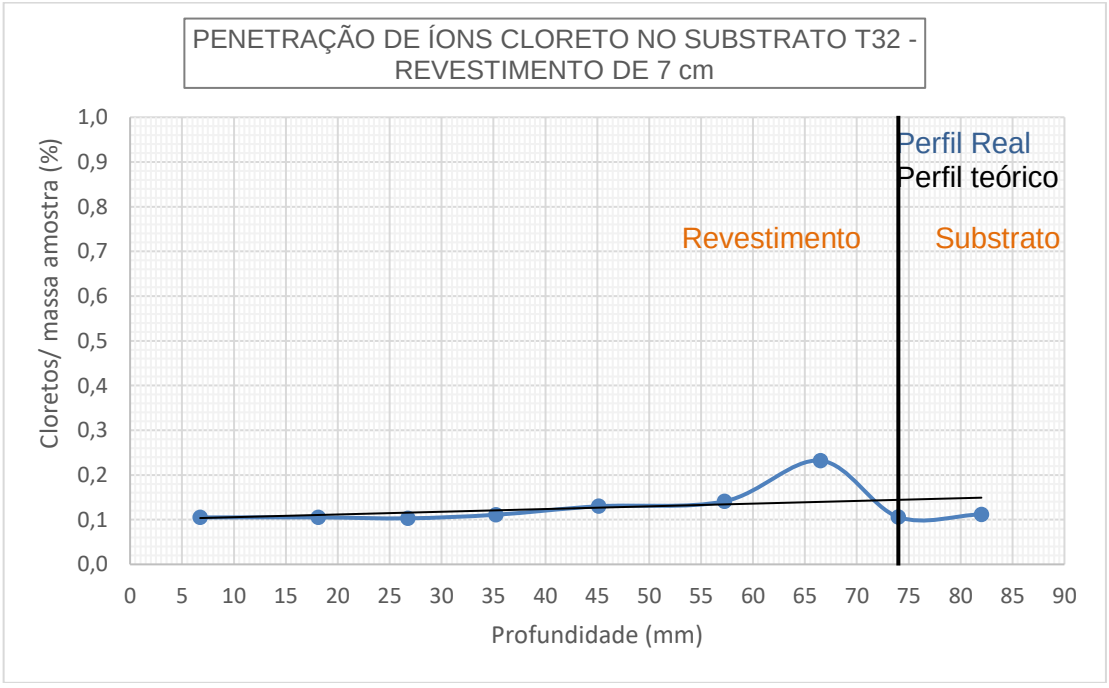
Figura 4.33 – Perfil de íons cloreto no substrato T31, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

O pico de concentração de cloretos formado no contato da interface do revestimento de argamassa de saneamento com o substrato de tijolo maciço também faz com que haja uma diminuição do teor de cloretos totais em direção a superfície do revestimento.

Figura 4.34 – Perfil de íons cloreto no substrato T32, revestimento de 7 cm.

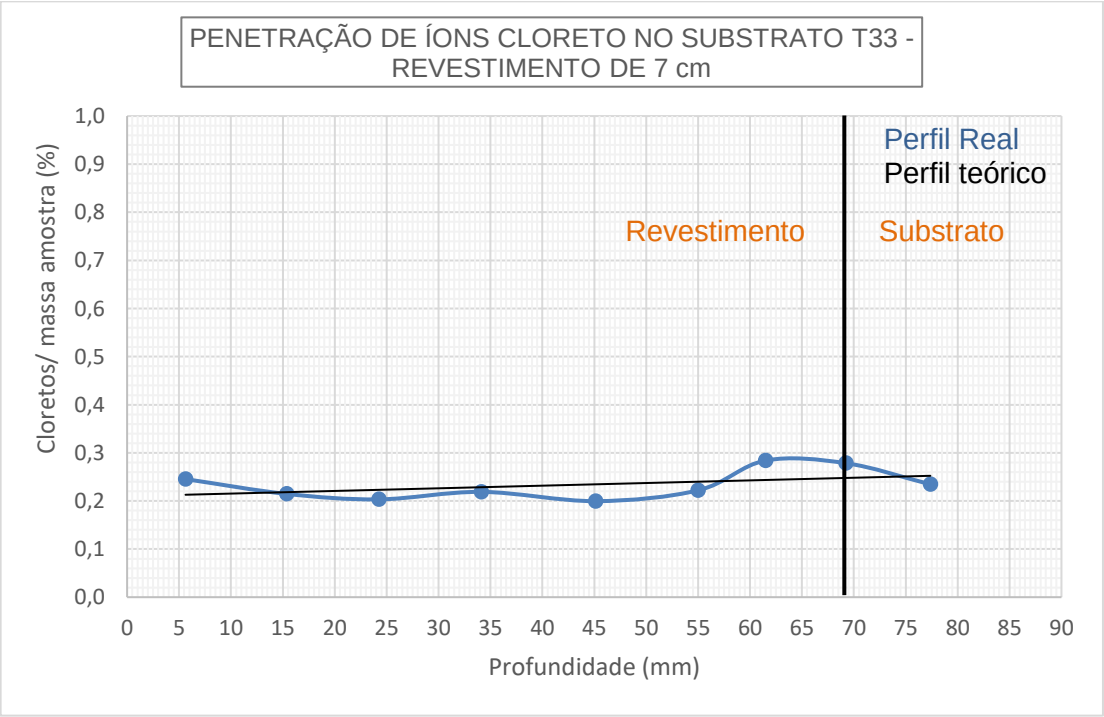


Fonte: Autor.

Entretanto, esse pico levemente acentuado não se comporta como os encontrados nos revestimentos de argamassa de saneamento com espessuras de revestimentos de 3 e 5 cm.

Pode-se dizer que a presença de cloretos na interface de contato do revestimento de argamassa de saneamento com o substrato pode gerar solidificações dos sais solúveis e ocasionar patologias nesse local e até mesmo comprometer a aderência do revestimento ao substrato. Para o ponto “O2” de coleta da pesquisa de Nunes (2022), onde a profundidade de penetração foi de aproximadamente 80 mm, próximo a ´profundidade total de extração desse revestimento de argamassa de saneamento de 7 cm, conseguiu obter um perfil em que houve a retenção dos sais na faixa de 0,06% em relação a massa da amostra analisada e a profundidade desse pico de concentração se deu nos 42 mm de profundidade. Após o pico da concentração do substrato T32, entre 0,2 e 0,3% observa-se uma diminuição do teor de cloretos em direção a superfície.

Figura 4.35 – Perfil de íons cloreto no substrato T33, revestimento de 7 cm.

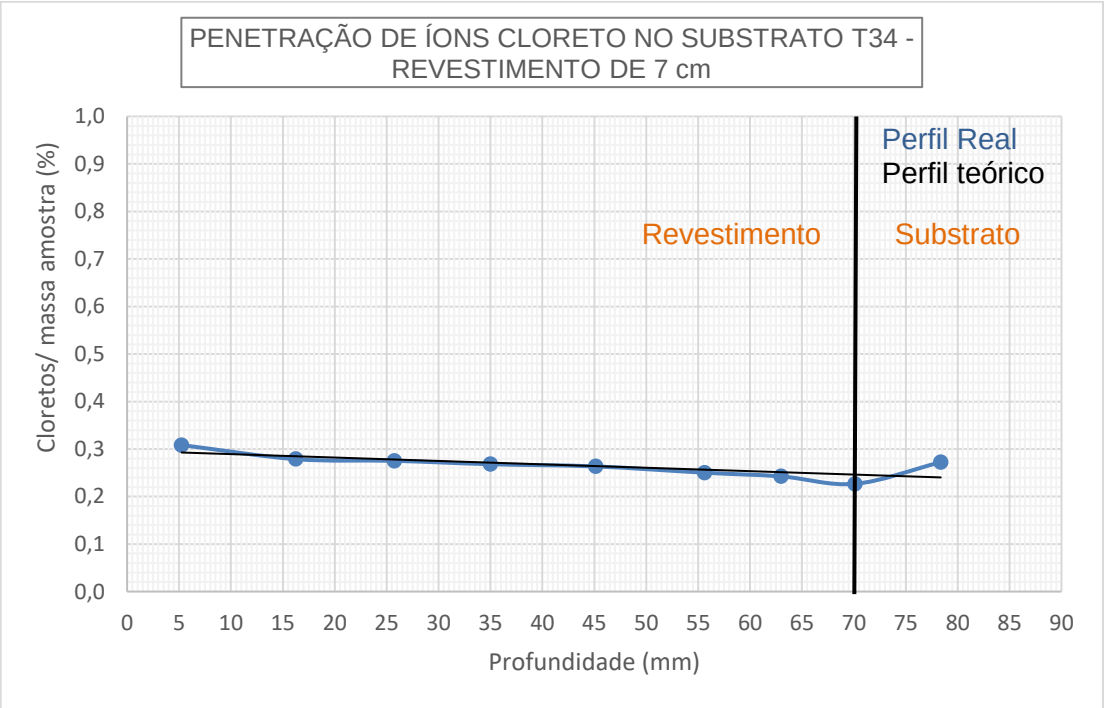


Fonte: Autor.

Os substratos T34 e T35 (Figuras 4.36 e 4.37) não apresentaram pico visível representado pelo comportamento real de íons cloreto (APÊNDICE 05c). A curva de

regressão mostra um comportamento estável e constante de migração dos íons cloreto para a argamassa de saneamento.

Figura 4.36 – Perfil de íons cloreto no substrato T34, revestimento de 7 cm.

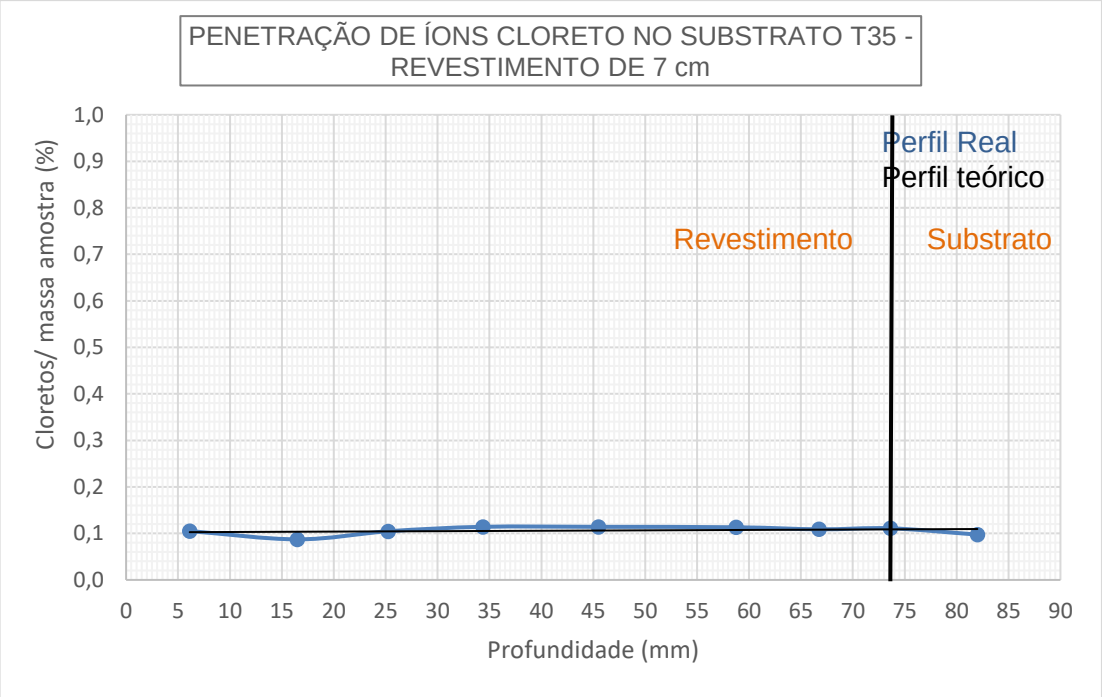


Fonte: Autor.

O comportamento da migração dos íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento do testemunho T34 ficou todo na faixa dos 0,3% em relação a massa da argamassa. Não houve nenhuma incidência de retenção dos sais no interior da massa de argamassa embora os íons cloreto não tenham chegado à superfície do material. Uma colocação importante de Arendt (1995) é que quando o reboco de recuperação é aplicado os sais não deixam de se cristalizar, porém não mais na superfície do reboco de recuperação e sim no interior, nos poros e na interface da parede-substrato. Por isso, a utilização do aditivo incorporador de ar para abrir os poros e permitir a migração e a cristalização em seu interior.

A Figura 4.37 representa o substrato T35, revestido com argamassa de saneamento de 7 cm de espessura. O comportamento do perfil, observado tanto pelo perfil real de penetração quanto pelo perfil teórico de regressão mostra uma curva suave e sem picos de concentração aparente, da mesma forma que o obtido no comportamento do perfil do testemunho T34, porém com faixa de migração constante de cloretos da ordem de 0,1% em relação a massa da amostra analisada.

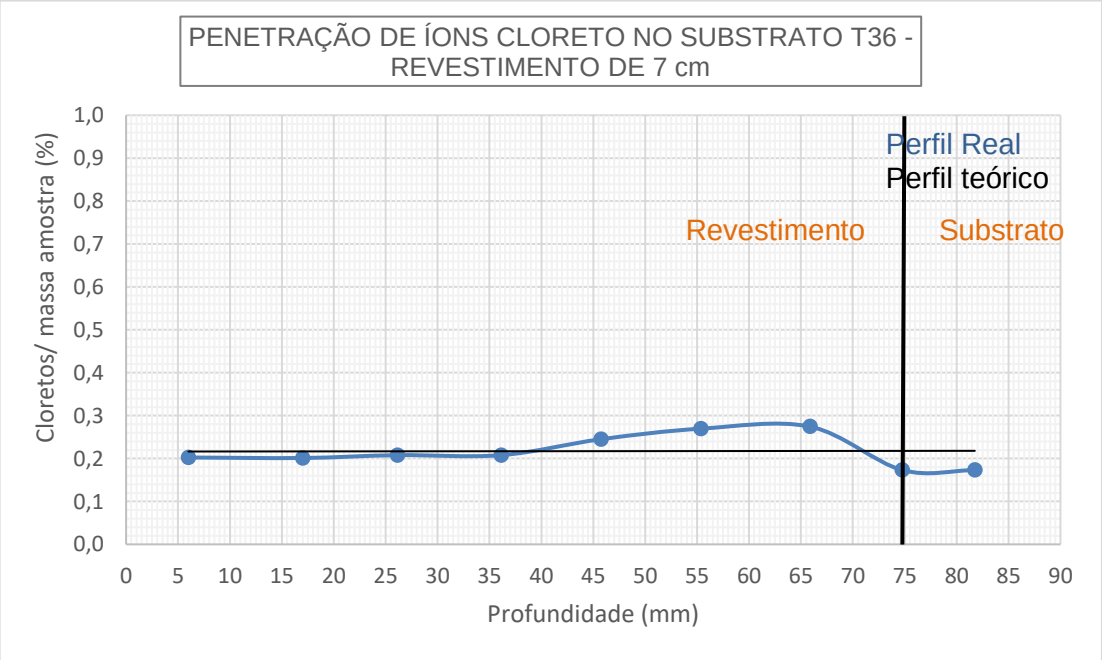
Figura 4.37 – Perfil de íons cloreto no substrato T35, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

Nesse modelo de comportamento dos perfis de penetração de íons cloreto pode ser que com o passar do tempo íons cloreto se aproximem da superfície do material ou possuam tendência de reduzir ainda mais o percentual de cloretos. Com esse modelo de comportamento é difícil prever o comportamento a longo prazo.

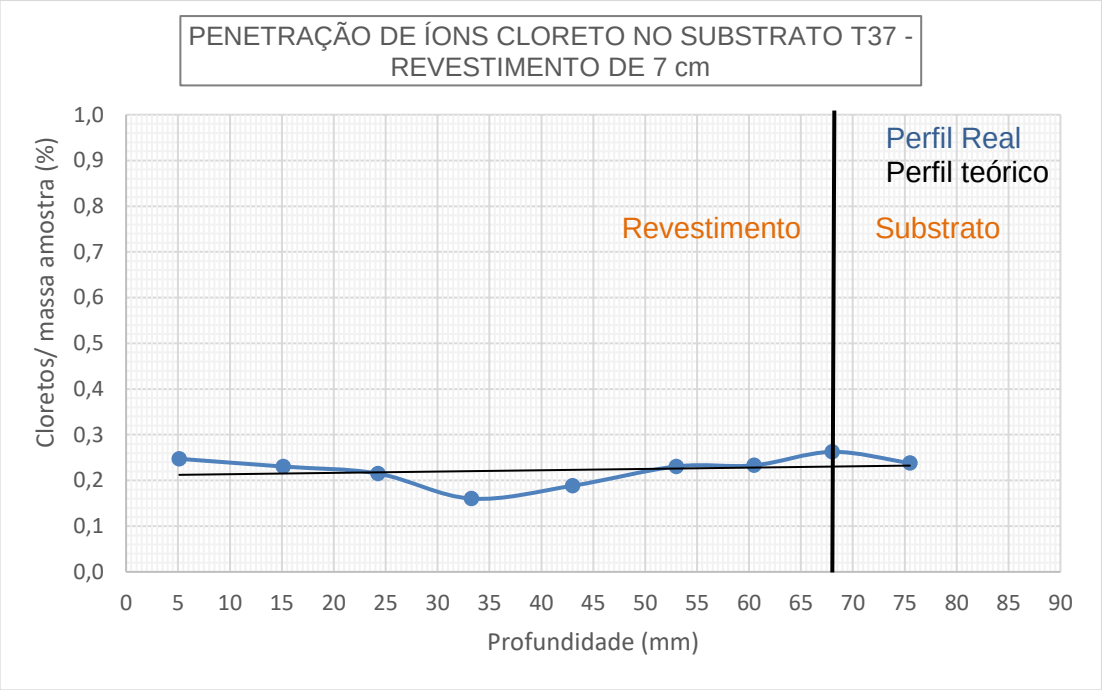
Figura 4.38 – Perfil de íons cloreto no substrato T36, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

As Figuras 4.38 e 4.39 mostram o comportamento dos perfis de cloretos ao longo da profundidade de penetração dos substratos T36 e T37 (APÊNDICE 05c). Ambos possuem comportamentos suaves e sem grandes concentrações, ambos na faixa de 0,2% em relação a amostra de argamassa de saneamento. O perfil de cloretos do testemunho T36 ainda apresenta uma leve formação de pico da concentração de cloretos na profundidade de 67 mm, bem próximo a região de contato do substrato com a argamassa de saneamento. Posteriormente, o teor de cloretos é diminuído constantemente e não chega à superfície do revestimento.

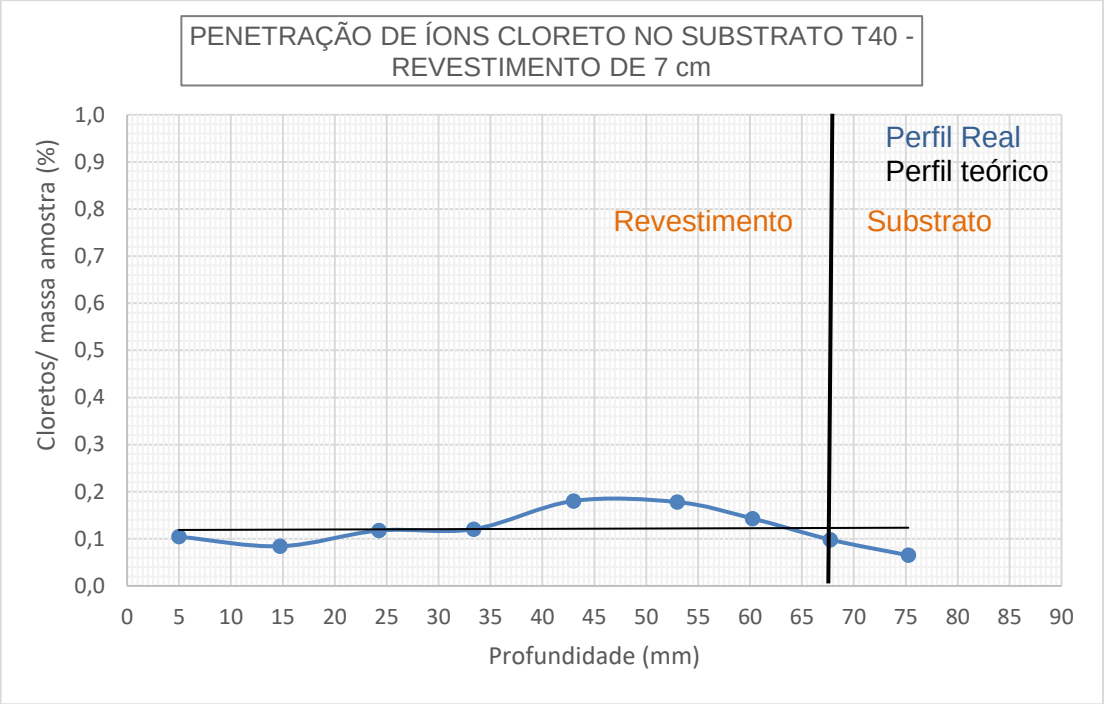
Figura 4.39 – Perfil de íons cloreto no substrato T37, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

Nunes (2022) apresentou apenas um ponto com profundidade de penetração semelhante ao extraído nesses testemunhos com revestimento de argamassa de saneamento e obteve um pico elevado de retenção de cloretos na profundidade de 42 mm, conforme já foi mencionado. Todos os picos obtidos com esses revestimentos de 7 cm de espessura possuíram valores constantes de faixas percentuais de cloretos e gerando apenas pequenos picos de concentração na região de proximidade com a interface do substrato e a argamassa de saneamento. Outro exemplo desse comportamento é notado na figura 4.40 para o substrato revestido com 7 cm de espessura T40.

Figura 4.40 – Perfil de íons cloreto no substrato T40, revestimento de 7 cm.



Fonte: Autor.

O comportamento do substrato T40 (Figura 4.40) frente à contaminação salina apresentou pouca concentração de cloretos ao longo das profundidades de penetração (APÊNDICE 05c), em torno de 0,1% em relação a massa de argamassa analisada, mas com sais que migraram até o revestimento de argamassa de saneamento. Como todos, os outros nenhum deles, de 7 cm de espessura, apresentou cloretos na face exterior do revestimento. Assim como no testemunho T38, houve maior formação de concentração de cloretos entre os 40 e 60 mm de penetração (com certa aproximação da região de contato da interface do substrato com a argamassa de saneamento) e em seguida, em direção a superfície do material o teor de cloretos tende a diminuir.

Num edifício histórico de Belém, Loureiro (2013), em sua pesquisa, em um ponto de coleta estratégico, em um teste rápido, verificou que, ao retirar amostra do reboco antigo para colocar um na tentativa de dessalinizar as paredes do prédio histórico, o teor de cloretos encontrado era da ordem de 0,22%. Também observou que o teor de sal se mantinha homogêneo pelos demais pontos estudados em uma parede externa do prédio, sendo que esse valor era da parte central da parede e diminuindo em direção as laterais. Esse ponto trás que mesmo com esse comportamento de perfil, sem grandes picos de concentração do teor de cloretos, o revestimento de 7 cm pode ser um comportamento aceitável, todavia melhor estudado.

Loureiro (2013), ainda menciona que os sais solúveis que causam a maior parte das degradações em revestimentos de prédios antigos são oriundos dos materiais de construção utilizados na época da construção, visto que a areia e a cal, há algumas décadas atrás usadas na confecção de argamassas antigas são derivadas de ambientes com atmosfera marinha.

Segundo Nunes (2022), a correlação entre a espessura da amostra do reboco e a profundidade de ocorrência dos picos de retenção dos íons cloreto, está ligada as espessuras menores, onde os picos ocorrem próximos a superfície externa e, à medida que a espessura aumenta, também, ocorre o aumento da profundidade de ocorrência dos picos de retenção de íons cloreto.

O Quadro 4.9 mostra um resumo dos cálculos dos resultados obtidos para os revestimentos de argamassa de saneamento dos substratos com 7 cm de espessura.

Quadro 4.9 – Resumo dos resultados obtidos para os revestimentos de 7 cm.

RESULTADOS PARA OS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM A ARGAMASSA DE SANEAMENTO DE 7 CM DE ESPESSURA							
MÉTODO DE ENSAIO	**TESTEMUNHO (T) 7 cm**	**TEMPO DE CONTAMINAÇÃO**	**TEMPO DE CURA**	**MÉDIA Cl- TOTAIS**	**MÉDIA Cl- REG.**	**CpS (%) MASSA**	**CP (%) MASSA**
Fio de Prata Ag/AgCl	26	120 dias	245 dias	0,128	0,128	0,153	0,153
	27			0,108	0,108	0,109	0,114
	28			0,224	0,224	0,200	0,253
	29			0,192	0,194	0,264	0,264
	30			0,185	0,186	0,172	0,252
	31			0,212	0,211	0,203	0,226
	32			0,127	0,127	0,105	0,232
	33			0,233	0,231	0,245	0,284
	34			0,265	0,360	0,308	0,308
	35			0,106	0,104	0,105	0,114
	36			0,217	0,217	0,202	0,275
	37			0,223	0,223	0,247	0,263
	40			0,121	0,121	0,104	0,180

“MÉDIA Cl- TOTAIS” = Média do teor de íons cloreto das cinco camadas extraídas para o testemunho relativo.
“MÉDIA Cl- REG” = Média do teor de íons cloreto para o perfil de cloretos teórico, resultante da regressão.
“CpS (%) MASSA” = Teor de cloretos mais próximo a superfície do revestimento.
“CP (%) MASSA” = Teor do pico da concentração de cloretos.

Fonte: Autor.

Observando a média de cloretos totais, em relação aos substratos revestidos com argamassa de saneamento com espessura de 3 e 5 cm, os testemunhos revestidos com argamassa de saneamento de espessura de 7 cm não ultrapassaram 0,265% em relação a massa da amostra analisada. O substrato T35 foi o que obteve o menor percentual do teor de cloretos, ficando com 0,1% e o T34 apresentou o maior teor de 0,265%. Os substratos com menores espessuras de revestimentos obtiveram a

maior migração de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento, assim como maior retenção do íon. Os substratos T27, T28, T30, T31, T32, T33, T35, T36, T37 E T40 ainda tiveram um pico de concentração de cloretos, relativamente baixo, comparando com as demais espessuras de revestimento, porém diminuindo em direção a superfície externa do revestimento, sendo possível observar através das duas últimas colunas do Quadro 4.9. De acordo com o mencionado por Nunes (2022), pode ser que a espessura do revestimento tenha influenciado no comportamento dos perfis de cloretos ao longo da profundidade de penetração do revestimento, ou também, a umidade necessária para migração dos íons não foi o suficiente para formar concentrações mais elevadas de cloretos como os apresentados nas espessuras anteriores.

Dentre as três espessuras de revestimentos de argamassa de saneamento, o perfil de penetração de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento, com revestimento de 5 cm foi o que apresentou o melhor comportamento dentre os três tipos de espessuras de revestimentos analisados. Onde todas as amostras apresentaram tendência de redução da concentração de cloretos em direção a superfície do revestimento de argamassa de saneamento. Mostrando assim, que a retenção dos sais solúveis retirados do substrato contaminado e o aprisionamento no interior da mistura de argamassa ocorreu de forma eficiente. Desse modo, contribui para a eliminação ou minimização de deteriorações por umidade e sais. Da mesma forma que para o revestimento de argamassa de saneamento de 3 cm de espessura, essa condição pode estar associada ao índice de vazios, composição granulométrica do agregado miúdo, carbonatação da cal, presença de cinzas de carvão mineral e a utilização do aditivo incorporador de ar.

O perfil de penetração de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento, com revestimento de 7 cm de espessura foi o que apresentou o menor desempenho no comportamento esperado entre os três tipos de espessuras de revestimentos analisados. Praticamente todos os perfis de penetração apresentaram-se de forma constante em direção a superfície do revestimento, embora que nenhum tenha cloretos na superfície. Houve pouca formação de pico de concentração de íons cloreto. Por isso, o revestimento de argamassa de saneamento, de 7 cm de espessura, não apresentou desempenho como as outras duas espessuras na retenção de sais migrados do substrato.

De acordo com Nunes (2022), Arendt (1995) e as Recomendações do Caderno Alemão (1995) a durabilidade de uma argamassa de saneamento está relacionada a espessura do revestimento aplicado que melhora a distribuição dos poros, a maior formação de vazios durante o seu endurecimento, a carbonatação da cal, das reações químicas da sílica do cimento, das adições pozolânicas e do aditivo incorporador de ar. Provavelmente, como analisado nos perfis de penetração de íons cloreto dos revestimentos de argamassa de saneamento de 3 e 5 cm, podem ser adequadas ao uso em ambientes litorâneos, costeiros e portuários, atuando como uma boa argamassa de dessalinização de substratos e evitando deteriorações no revestimento.

Diversos estudos mostram que construções e edificações, localizadas na região do extremo sul do estado do Rio Grande Sul, são frequentemente afetadas pela ação de agentes deteriorantes. Esses agentes são principalmente formados pela ação da alta umidade relativa do ar na região e a formação de aerossóis de cloretos, sulfatos, nitratos e outros constituintes químicos da atmosfera, transportados pelos ventos, derivados da costa do oceano atlântico.

De acordo com Helene (1986) a presença de cloretos nos elementos construtivos, originam-se das seguintes fontes mais comuns: aditivos, agregados contaminados por sais solúveis, água de amassamento, soluções de sais degelantes, água do mar, atmosfera marinha (maresia) e processos industriais.

Segundo Helene (1993) e Neville (1997) os cloretos podem ser encontrados como contaminação de agregados principalmente em regiões litorâneas, em águas salobras ou excessivamente cloradas. Com isso, para a região sul, o ataque de íons cloreto é bastante elevado, pela porosidade dos componentes utilizados, contribuindo para a deterioração dos materiais de construção.

Da mesma forma, Metha e Monteiro (2008) descrevem que a penetração de cloretos ocorre em regiões litorâneas pela exposição à água do mar direta ou indiretamente, através do vento que pode carregar a névoa salina, também chamada de aerossol marinho ou marítimo para ambientes costeiros e portuários, por alguns quilômetros da costa para o interior. É basicamente o que ocorre de modo intensificado na cidade de estudo.

Nunes (2022) ainda explica que os materiais e métodos empregados para conservação e restauro dos revestimentos variam conforme o tipo de deterioração presente. É necessário que se faça uma análise prévia e criteriosa do estado de conservação do revestimento a ser restaurado e deve-se respeitar o seu

funcionamento original. Caso não seja feita, outras manifestações patologias podem surgir, mais graves ou não, contribuindo para o avanço, mais acelerado ou não, do processo deterioração dos revestimentos.

No Brasil, os estudos referentes à aplicação da argamassa de saneamento em ambiente marítimo ainda é um paradigma. Diversos estudos apontam para argamassas de reparos comuns, que muitas vezes é a mesma que foi aplicada anteriormente, não sendo viável para fins de durabilidade. A produção, o traço e sua aplicação ainda é inovador, principalmente em regiões com alto índice de agressividade e salinização como a região do extremo sul do país, o que justifica a relevância do desenvolvimento da pesquisa apresentado nesta tese.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões

A aplicação da metodologia proposta nos substratos para a produção da argamassa de saneamento para revestimento dos substratos em diferentes espessuras e a partir da análise da migração de cloretos do substrato para o revestimento de argamassa de saneamento, pode-se concluir que:

1. Até o presente momento ficou comprovada a eficácia da argamassa de saneamento no aprisionamento dos sais solúveis em seus poros.
2. A caracterização da argamassa de saneamento se mostrou coerente de acordo com outros escassos estudos sobre a atuação da argamassa de saneamento.
3. No traço da argamassa de saneamento à resistência a tração na flexão apresentou valor de 0,13 MPa e à resistência a compressão axial de 0,21 MPa. Teoricamente, esses valores de resistências característicos não se mostraram com bom desempenho. Provavelmente, essa baixa resistência pode ser explicada pelo uso do aditivo incorporador de ar, que pode ter influenciado para as baixas resistências à flexão e à compressão. Sabendo-se que a resistência mecânica das argamassas a base de cal aérea normalmente é baixa, exige-se certos cuidados na fabricação e aplicação da argamassa de saneamento.
4. O perfil de íons cloreto do substrato para a argamassa de saneamento, com revestimento de 3 cm, apresentou bom desempenho na retenção dos sais solúveis do substrato e mantendo-os aprisionados no interior da argamassa, impedindo que cloretos livres chegassem à superfície do revestimento. Assim, evitando manifestações patológicas em zonas com grandes concentrações desses sais. Isto pode ser justificado pelo índice de vazios, pela composição granulométrica do agregado miúdo e a utilização do aditivo incorporador de ar.
5. O revestimento de argamassa de saneamento com espessura de 5 cm apresentou o melhor comportamento na retenção dos íons cloreto quando o substrato se encontra altamente contaminado. Isto reforça as orientações de Arendt (1995), em que diz que a argamassa de saneamento, com espessura em

torno de 5 cm, apresenta bons resultados. Da mesma forma, Nunes (2022), encontrou melhores desempenhos em espessuras que variam de 5 até 7 cm.

6. Analisando a presença de íons cloreto em relação a massa da argamassa, foram obtidos valores significativos de concentração do íon no interior da argamassa de saneamento. A não dispersão desses íons para a superfície do revestimento permite indicar a eficiência da argamassa utilizada para recuperação de alvenaria com alto teor de umidade e salinidade e, ainda atuar como barreira de proteção ao meio externo.
7. A análise de todos os perfis de íons cloreto permitiu concluir que a argamassa de saneamento, desenvolvida para recuperação de prédios históricos, se for utilizada também para revestimentos em obras convencionais, já deterioradas ou não, com a espessura adequada, tende a apresentar bom desempenho e condição de barreira de proteção contra agentes de deterioração, como umidade e sais solúveis.
8. Por fim, pode-se concluir que a argamassa de saneamento, aplicada como revestimento de recuperação em obras localizadas em ambientes de zona de atmosfera marinha possui boa relevância de utilização se aplicada conforme as espessuras de bom desempenho.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

1. Replicar o traço da argamassa de saneamento, com as três diferentes espessuras de revestimentos e aplicar em substratos com diferentes graus de umidade e salinidade.
2. Desenvolver novos traços de argamassa de saneamento e obter ficha de caracterização completa quanto as propriedades físicas, químicas e mecânicas, além da viabilidade de aplicação em substratos contaminados e não contaminados.
3. Analisar a viabilidade econômica de aplicação da argamassa de saneamento, em suas diferentes espessuras de revestimentos comparando com argamassas comumente utilizadas.
4. Medir o desempenho da argamassa de saneamento em relação aos agentes externos, principalmente em ambientes com elevada presença de névoa salina.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005b.

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

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

ABNT NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005d.

ABNT NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2016.

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

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

ABNT NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005a**.**

ABNT NBR 13528: **Revestimento de paredes de argamassa inorgânicas – Determinação da resistência da aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010.

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

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

ABNT NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de janeiro, 2017.

ABNT NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

AGUIAR, J.; TAVARES, M.; VEIGA, M. R. 2001. **Consolidação de Revestimentos Exteriores (Rebocos e Barramentos) de Edifícios Antigos**. Reflexões para um Plano de Estudo, Lisboa, LNEC, Relatório 216/2001-NA. 2001.

ALMEIDA, S. M. 2012. **Análise do Módulo de Elasticidade Estático e Dinâmico do Concreto de Cimento Portland Através de Ensaios de Compressão Simples e de Frequência Ressonante.** 2012. 231f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ALVAREZ, J. A.; SEQUEIRA, C.; COSTA, M. 2005. **Ensinamentos a Retirar do Passado Histórico das Argamassas.** In: Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 1, Lisboa, 2005. *Anais*... Lisboa: APFAC, 2005.

ANDRADE, M. C. 1992. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras.** Tradução e adaptação Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo, Pini. 1992.

ANGELIN, R. R.; ANGELIN, S. C. M; CARASEK, H. 2003. **Influência da Distribuição Granulométrica da Areia no Comportamento dos Revestimentos de Argamassa.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, V., 2003. Anais, São Paulo: ANTAC 2003.

ARENDT, C. 1995. **Métodos de Tratamento de Alvenarias Deterioradas: A Utilização de Rebocos de Recuperação e Medidas de Combate aos Sais.** In: Seminário sobre recuperação de obras históricas de engenharia e arquitetura: Avaliação do estado de conservação, análise, diagnóstico e terapia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC – LEME, 1995.

ARNOLD, A. 1983. **Decay of Stony Materials by Salts on Humid Atmosphere.** Zurich, Switzerland: Institut für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, 1983.

BAÍA, L. L. M.; SABATTINI, F. H. 2000. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

BARGER, G. S. et al. 2001. **Production and use of calcined natural pozzolans in concrete.** Cement Concrete and Aggregates, v. 23, n. 2, p. 73-80, 2001.

BAUER, E. 2007. **Revestimento de Argamassa: Características e Peculiaridades.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, 2007, Salvador. Anais. Salvador, 2007.

BENDER, J. 2016**. Desenvolvimento de Ensaio de Difusão Acelerado em Condição Saturada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016, 112p.

BIANCHIN, A. C. 1999. **Influência do Proporcionamento dos Materiais Constituintes no Desempenho de Argamassas para Reboco de Recuperação de Alvenarias Contaminadas por Umidade e Sais.** Dissertação (Mestrado).

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 1999.

BOURGES, Ann.; VERGES-BELMIN, V. 2008. **Comparison and Optimization of Five Desalination System on the Inner Aalls of Saint Philibert Church in Dijon, France.** In: Salt Weathering on Buildings and Stone Sculptures, 1, 2008, Copenhagen. Anais...Copenhagen: University of Cyprus, 2008.

BREITENBACH, S. B. 2013. **Desenvolvimento de Argamassa para Restauração Utilizando Resíduo do Polimento do Porcelanato.** Natal, 2013. 180f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

CALDAROLA, F.; LAVIANO, R.; SCANDALE, E. 2005. **Il Restauro dell'Arco San Nicola a Molfetta: Una Pregevoleriscoperta**. 2005. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/259526593_2005_Il_restauro_dellarco_di_S._Nicola_a_Molfetta_una_pregevole_riscoperta> acesso em 11/02/2023.

CARASEK, H. 1996. **Aderência de Argamassas à Base de Cimento Portland a Substratos Porosos – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da Ligação.** São Paulo, 1996. (Tese Apresentada a Escola Politécnica da USP).

CARASEK, H. 2007. **Argamassas.** In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil.** São Paulo: IBRACON, 2007. p. 863-904. 2007.

CARASEK, H. 2010. **Argamassas.** In. ISAIA. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CARASEK, H. 2016. **Patologia das Argamassas de Revestimentos.** Publicado em Instituto Brasileiro de Concreto. Goiás, GO, 2016.

CARRIO, J. M. 1993. **La Patologia y Los Estudios Patológicos.** In: Comisión de Asuntos Tecnológicos. Curso de Conservasión y Restauración de Edificios. 2° ed. Madri: Servicío de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madri, 1993.

CASCUDO, O. 1994. **Inspeção de Estruturas de Concreto com Vistas ao Controle da Corrosão das Armaduras – Técnicas e Parâmetros.** In: Reunião do IBRACON – REIBRAC: Manutenção e Controle de Estruturas de Concreto, 36a. Porto Alegre. Anais. 5° ed. 1994.

CINCOTTO, M. A. 1988. **Patologia das Argamassas de Revestimento: Análise e Recomendações.** In: Tecnologia das Edificações. São Paulo. PINI/IPT, 1988.

CINCOTTO M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. 1995. **Argamassa de Revestimento: Características, Propriedades e Métodos de Ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995 (Publicações IPT 2378).

CINTRA, C. L. D. 2013. **Argamassa para Revestimento com Propriedades Termoacústicas, Produzida a Partir de Vermiculita Expandida e Borracha Reciclada.** 2013. 154f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Carlos, São Carlos, 2013.

CLIMENT, M, A.; VIQUEIRA, A.; VERA, G.; LÓPEZ-ATALAYA, M. M. 1999. **Analysis of Acid-Soluble Chloride in Cement, Mortar, and Concrete by Potentiometric Titration Without Filtration Steps.** Cemente and Concrete Research. N 29, 1999, p. 893-898.

CLIMENT, M, A.; VIQUEIRA, A.; VERA, G.; LÓPEZ-ATALAYA, M. M. 2004. **Generalization of the Possibility of Eliminating the Filtration Step in the Determination of Acid Soluble Chloride Content in Cement and Concret by Potentiometric Titration.** Cemente and Concrete Research. N 34, 2004, p. 2291-2295.

CRANK, j. 1975. **The Mathematics of Diffusion. 2. Ed. New York: Oxford University Press.** 1975. 414p.

DAVIDOVITS, F. 1993. **Les Morters de Pouzzolanes Artificielles Chez Vitrure Évolution et Historique Architeccturale**. Université Paris, 1993.

DIAS, C. R. R.; CUNHA, R. O. 1997. **O Uso de Argamassa de Saneamento na Restauração da Catedral de São Pedro na Cidade do Rio Grande.** IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil, 1997.

FANTON, T. 2017. **Proposta de Método de Ensaio Acelerado para Determinação do Coeficiente de Difusão de íons Cloreto em Concretos na Condição Saturada.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2017.

FIGUEIREDO, E. P.; HELENE, P. R. L. 1994. **Assim Caminha a Corrosão.** Téchne, v. 10, P. 28-33, maio/junho. São Paulo, Pini. 1994.

FIORITO, A. J. S. I. 1994. **Manual de Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução.** 2. ed. São Paulo: Pini, 1994.

FIORITO, A. J. S. I. 2009. **Manual de Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução.** 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

FREITAS V. P. 1998. **Influence of the Vapour Permeability of Paintings and the Hygroscopicity of the Internal Coating on the Hygrothermalbehaviour of Walls.** Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1998.

GEWEHR, U. 2004. **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.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, RS, 2004.

GIBBONS, P. 1997. **Pozzolans for Lime Mortars.** 1997. Disponível em: <http://www.buildingconservation.com/articles/pozzo/limepozzolans.htm>. Acesso em: 28 de março 2022.

GUIMARÃES, A. T. C. 1994. **Laudo Técnico de Vistoria da Catedral de São Pedro-Rio Grande-RS**. 1994.

GUTERRES, P. R. C. 2016. **Argamassas de Reabilitação: Estudo da sua Utilização e do seu Comportamento para o Tratamento e Recuperação de Construções Afetadas por Eflorescências.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade da Beira Interior, Cavilhã, 2016.

HELENE, P. R. L. 1986. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado.** Pini/ipt São Paulo. 1988.

HELENE, P. R. L. 1993. **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado.** São Paulo, 1993. Tese (livre docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil.

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

HUGHES, J. J. 2010. **The Role in Masonry: An Introduction to Requirements for the Design of Repair Mortars.** In: 2° Historic Mortars Conference HMC 2010 and RILEM TC 203- RHM Final Workshop. Prague. *Anais*. Prague Czech Republic, 2010.

HUGHES, J. J. 2012. **Compressive and Flexural Strength Testing of Brick Masonry Panels Constructed with Two Contrasting Traditionally Produced Lime Mortars**. RILEM, Delft, Janeiro 2012.

KAMPF, Leo. 1961. **Workability of Mansory Mortars.** Materials, Research e Standard, Easton, jan. 1961. P7 e 8.

KANAN, M. I. C. 2008. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal.** Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, 2008. (Cadernos Técnicos, 8).

JOISEL, A. 1981. **Fisuras y Grietas em Morteros y Hormigones: Sus Causas y Remedios.** 5. Ed. Barcelona, Editores Técnicos Associados, 1981.

LEITE, M. R. G.; PÓVOAS, R. F.; VEIGA, M. R.; SILVA, A. S. 2015. **Caracterização e Registro de Argamassas dos Séculos XIX e XX: São Luís do Maranhão e a Arquitetura Ludovicense.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre- RS- 2015.

LERSCH, I. M. 2003. **Contribuição para a Identificação dos Principais Fatores de Degradação em Edificações do Patrimônio Cultural de Porto Alegre**. 2003. 180 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

LOUREIRO, A. M. S. 2013. **Argamassa de Saneamento para Dessalinização de Alvenarias Mistas de Edifícios Históricos de Belém.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós=Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, PA, 2013.

MARGALHA, G. 2011. **Argamassas.** Universidade de Évora, 2011. Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Patrimônio. 2011.

MARQUES, V.; VELOSA, A.; COROADO, J.; ROCHA, F.; COSTA, C. 2015. **Conservação de Rebocos em Cabo Verde.** XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Porto Alegre- RS – 2015.

MATEUS, J. M. 2002. **Técnicas Tradicionais de Construção de Alvenarias**. Lisboa. Livros Horizonte, 2002.

MATTOS, F. C. 2018. **Análise da Influência da Pozolanas Metacaulim no Desempenho de Argamassas de Cal Destinadas ao Restauro de Revestimentos Externos de Prédios Históricos.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pelotas. Centro de Desenvolvimento Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais. Pelotas, RS, 2018.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 1994. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo, PINI, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 2008. ***Concreto*: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. 2014. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEIRA, G. R. 2004. **Agressividade por Cloretos em Zona de Atmosfera Marinha Frente ao Problema da Corrosão em Estruturas de Concreto Armado.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2004.

MERGULHÃO, D. N. F. H. 2014. **Argamassas de Cal Aérea e Metacaulino: Influência do Traço, da Cura Marítima e da Idade.** Lisboa, 2014. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

MERINO, F. L. 1993. **Humedades y Eflorescência em Obras de Fabrica.** In: Comisión de Assuntos Tecnológicos. Curso de Restauración y Conservación de edificios. 2 ed. Madri: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madri, 1993.

MOHAMMED, T. U.; HAMADA, H. 2003. **Relationship Between free Chloride and Total Chloride Contents in Concrete.** Cement and Concret Research. 2003.

MOROPOULO, A. 2004. **Composite Materials in Ancient.** Structures, School of Chemical Engineering. Section of Materials Science and Engineering University of Athens, 2004.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A.; CARNEIRO, A. M. P. 2016. **Durabilidade de Argamassas com Adição de Metacaulim para Reforço de Alvenaria.** *Matéria*, v. 21, p. 1105-1116, 2016.

NAPPI, S. C. B. 2002. **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, 2002.

NAPPI, S. C. B.; TONERA, R. 1997. **Alvenarias Degradadas por Umidade e Salinidade: Estudo de Caso na Fortaleza de Anhatomirim.** IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade. Anais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil, 1997.

NEVILLE, A. M. 1997. **Propriedades do Concreto.** Trad. Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini. 1997.

NEVILLE, A. M. 2016. **Propriedades do Concreto**. 5 ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2016.

NUNES, J. L. O. 2022. **Análise da Integridade da Argamassa de Saneamento Brasileira Usada na Restauração do Revestimento Externo da Catedral de São Pedro, Rio Grande, RS, após 25 Anos de Aplicação.** 135p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

PCZIECZEC, A. 2017. **Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas de Argamassa para Revestimento Utilizando Cinza Volante e Resíduo de Borracha de Pneus Inservíveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Santa Catarina, Joinville, 2017.

POSSER, N. S. 2004. **Proporcionamento de Argamassas para Reboco de Recuperação.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F.; ÂNGULO, S. C.; GUILGE, M. S.; CAVANI, G DE R.; DE CASTRO, A. L.; CINCOTTO, M. A. 2009. **Estimativa da Porosidade de Argamassas de Cimento e Cal pelo Método de Cálculo de Volumes.** Ambiente Construído, v. 9, n. 4, p. 175-187, 2009.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. 1999. **Influência do Tipo da Cal Hidratada na Reologia de Pastas. Boletim Técnico 233**, São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

RECENA, F. A. P. 2014. **Técnicas Aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural.** Porto Alegre: IPSDP, 2014.

RODRIGUES, M. P. S. F. 2004. **Argamassa de Revestimento para Alvenarias Antigas: Contribuição para o Estudo da Influência dos Ligantes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2004.

ROSELLO, M. T. V. 1976. **Morteros de Cemento para Albanileria.** Madri. Instituto Eduardo Torroja. 1976. Apud SELMO, S. M. S. **Dosagem de Argamassa de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachadas de Edifícios.** São Paulo, 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil), Escola Politécnica da USP.

RUARO, P. 1997. **Contaminação e Patologias por Sais em Alvenarias Portantes de Edificações Históricas.** In: XXVIII Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 1997.

SABATTINI, F. H. 1984. **O Processo Construtivo de Edifícios de Alvenaria Estrutural Sílico-Calcária.** São Paulo, 1984, Dissertação de Mestrado Apresentada a Escola Politécnica da USP.

SABATTINI, F. H. 1986. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente.** Boletim Técnico 02/86. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1986.

SANDERS, M.; VAN HEES, R. P. J.; NALDINI, S. 2007. **Interviews of Different Parties Involved in the Restoration of Plastered Buildings.** Report for the COMPASS Project – Community Research – Final Report (2007).

SANTIAGO, C. C. 2007. **Argamassas Tradicionais de Cal.** Salvador: EDUFBA, 2007.

SANTIAGO, C. C. 2012. **O Restauro de Argamassa de Cal no Brasil.** Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, jan./jun. 2012.

SANTOS, A. R.; VEIGA, M. R.; SANTOS, A. S.; BRITO, J. 2015. **A Influência das Areias no Desempenho Mecânico das Argamassas de Cal.** In: Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción, 8; Congreso de Control de Calidad en la Construcción, 15. Anales. Lisboa, 2015.

SEELE, J. H.; SCULZE, M. C. 1998. Relatório Técnico do Projeto: Medidas de Combate à salinidade em Monumentos Históricos – “Rebocos de Recuperação e Sua Utilização em Prédios Históricos” – **Estudo de caso: A Edificação do Quartel das Tropas na Fortaleza de Santa Cruz – Ilha de Anhatomirim**. Florianópolis, SC, 1998.

SELMO, S. M. S. 1989. **Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo de Fachada de Edifícios.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 1989.

SELMO, S. M. S. 1996. **Revestimentos de Argamassas de Paredes e Tetos de Edifícios – Projeto, Execução e Manutenção.** São Paulo. 1996. Curso intensivo de argamassa de assentamento e revestimento. Associação Brasileira de Cimento Portland.

SILVA, C. A. 2010**. Comportamento dos Perfis de Cloreto em Tetrápodes Localizados nos Molhes da Barra (Rio Grande – RS – Brasil)**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica). Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande Rio Grande do Sul, Rio Grande, 2010.

SOUSA, A. J. C. 2010. **Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2010.

TAVARES, M. L. 2009. **A Conservação e o Restauro de Revestimentos Exteriores de Edifícios Antigos**. 2009. 475 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

TORRACA, G. 2009. **Lectures on Material Science for Architectural Conservation**. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2009.

TONERA, R. 1997. **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 a Fortaleza de Santa cruz de Anhatomirim. Florianópolis, SC, 1997.

TRISTÃO, F. A. 1995. **Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento.** 1995. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TUUTI, K. 1980. **Corrosion Stell in Concrete**. STOCKOLM; Swedish cement and concrete research institue. 1980.

VARGAS, J. L.; COMBA, G. J. 1984. **Monderde. Estúdio Teórico y Experimental Sobre los Morteros para Muros Resistentes de Fábrica de Ladrilho para la Actualización de la Norma Básica MV201-1972.** Materiales de Construccion, Madri, 1984, p3-41.

VEIGA, M. R. 2003. **Argamassas para Revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos. Características e Campo de Aplicação de Algumas Formulações.** 3º Encore, LNEC, Lisboa 2003.

VEIGA, M. R. S.; SANTOS, D. A. F. 2003. **Métodos de Ensaio de Revestimentos de Paredes Existentes: Ensaios *in situ* e Ensaios em Laboratório sobre Amostras Recolhidas em Obra.** Lisboa: LNEC, 2003.

VELOSA, A. L. P. L. 2006. **Argamassas de Cal com Pozolanas para Revestimento de Paredes Antigas.** Aveiro, 2006. 467 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006.

WEBER, J.; SZAMBELAN, R. 1996. **Crystallization of Sulphate Salts Induced by Selective Salt Extration by Poultices: Results from a Case Study, in Origin, Mechanisms and Effects of Salts o Degradation os Monuments in Marine and Continental Environments.** Bari: Zezza Editor, 1996.

WTA 2-2-91 – **Recomendações Alemãs para Sistemas de Rebocos de Recuperação.** 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.

APÊNDICE

APÊNDICE 01 – FICHA DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS NÃO CONTAMINADO E CONTAMINADO – TESTE

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO NÃO CONTAMINADO		
SUBSTRATO:		**T0 - SAUDÁVEL**
DATA:		03/11/2022
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,50	31,50
1°	37,50	36,50
2°	42,00	41,50
3°	47,00	46,50
4°	51,50	51,50
5°	64,50	64,50
6°	69,00	69,50
7°	74,00	74,50
8°	79,50	79,50
9°	83,00	83,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO CONTAMINADO		
SUBSTRATO:		**T1**
DATA:		03/11/2022
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	33,00	32,00
1°	38,00	38,00
2°	43,00	43,00
3°	48,00	47,00
4°	53,00	52,00
5°	59,00	58,00
6°	65,00	65,00
7°	70,00	69,50
8°	75,00	74,50
9°	81,00	79,00

APÊNDICE 02 – FICHA DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM 3 CM DE ESPESSURA

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T2**
DATA:		04/01/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,50
1°	42,00	42,10
2°	51,90	51,00
3°	56,50	57,00
4°	66,00	66,00
5°	73,00	70,00
6°	77,50	76,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T3**
DATA:		19/01/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,00
1°	41,00	40,50
2°	53,00	52,50
3°	58,00	57,00
4°	67,00	67,00
5°	72,00	72,50
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T4**
DATA:		19/01/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	30,50	31,00
1°	42,50	44,00
2°	51,50	54,00
3°	58,00	58,00
4°	67,00	67,00
5°	72,00	71,50
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T5**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	33,00	32,00
1°	42,00	41,50
2°	51,50	51,00
3°	56,00	55,00
4°	64,00	65,50
5°	69,00	70,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T6**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	31,00
1°	39,00	41,00
2°	51,00	51,50
3°	57,00	58,50
4°	66,50	67,00
5°	72,00	71,50
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T11**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	31,50
1°	42,00	42,50
2°	50,50	51,50
3°	56,00	56,00
4°	66,00	66,50
5°	71,00	71,50
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T12**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,00
1°	40,50	40,50
2°	50,50	51,50
3°	55,00	57,00
4°	69,00	69,50
5°	74,00	75,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T14**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,00
1°	41,00	40,50
2°	50,00	51,00
3°	55,00	55,50
4°	64,00	65,00
5°	69,00	70,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T15**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	31,50
1°	41,50	44,50
2°	52,00	52,00
3°	56,00	56,00
4°	68,00	69,00
5°	72,00	74,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T16**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,00
1°	44,00	45,00
2°	53,50	54,00
3°	61,50	61,50
4°	71,00	71,00
5°	75,00	76,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T17**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	31,00
1°	42,50	44,00
2°	55,00	54,00
3°	62,00	62,50
4°	70,00	70,00
5°	74,00	74,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T18**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,00
1°	43,50	45,00
2°	53,50	55,00
3°	62,00	63,00
4°	73,00	75,00
5°	78,00	78,00
6°	-	-

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T19**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	30,50	30,50
1°	41,50	44,00
2°	50,50	52,50
3°	59,00	57,00
4°	67,00	67,50
5°	73,00	74,50
6°	-	-

APÊNDICE 03 – FICHA DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM 5 CM DE ESPESSURA

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T7**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,50
1°	40,00	40,00
2°	49,50	49,00
3°	63,00	62,00
4°	70,00	70,50
5°	77,00	77,00
6°	87,50	88,50
7°	92,00	92,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T8**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	30,50
1°	45,00	43,50
2°	52,50	53,50
3°	61,50	61,00
4°	72,50	72,00
5°	76,50	76,50
6°	89,00	92,00
7°	95,00	95,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T9**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	33,00	32,50
1°	44,00	44,00
2°	54,00	54,50
3°	63,50	63,00
4°	73,50	73,00
5°	79,00	80,00
6°	89,00	90,00
7°	94,00	94,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T10**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	31,00
1°	41,00	40,00
2°	51,00	50,50
3°	60,00	60,00
4°	71,50	72,00
5°	77,00	77,00
6°	88,00	89,00
7°	93,00	93,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T13**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	31,00
1°	42,00	42,50
2°	51,00	52,00
3°	62,00	63,50
4°	71,00	73,50
5°	77,00	78,50
6°	87,50	93,00
7°	97,00	98,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T20**
DATA:		06/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	31,00
1°	45,00	44,00
2°	54,50	53,00
3°	62,00	63,00
4°	74,50	74,00
5°	78,00	78,00
6°	86,00	86,00
7°	91,00	90,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T21**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	31,50
1°	45,00	46,00
2°	53,00	54,50
3°	64,50	64,00
4°	71,00	73,00
5°	76,50	77,00
6°	85,00	85,00
7°	92,00	92,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T22**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial		
1°		
2°		
3°		
4°	Acidente no transporte até o equipamento	
5°	Amostra perdida	
6°		
7°		

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T23**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	31,00
1°	42,00	42,50
2°	51,00	52,50
3°	62,50	62,50
4°	71,00	71,00
5°	75,00	76,50
6°	84,00	84,00
7°	89,00	89,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T24**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	30,50	30,00
1°	41,00	41,00
2°	50,50	51,00
3°	60,00	60,00
4°	70,50	70,00
5°	75,00	75,00
6°	85,00	87,50
7°	91,00	92,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T25**
DATA:		07/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,00
1°	43,50	43,50
2°	53,00	52,50
3°	55,00	56,00
4°	64,00	64,00
5°	69,00	69,50
6°	80,00	81,00
7°	84,50	86,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T38**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	32,00
1°	40,00	40,00
2°	52,50	51,50
3°	60,00	60,00
4°	71,00	72,50
5°	77,50	71,00
6°	87,50	88,00
7°	92,50	93,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T39**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	30,00	30,00
1°	40,00	40,50
2°	50,50	50,00
3°	60,00	60,00
4°	73,00	71,50
5°	77,50	78,00
6°	87,50	88,50
7°	93,50	94,50

APÊNDICE 04 – FICHA DE EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DOS SUBSTRATOS REVESTIDOS COM 7 CM DE ESPESSURA

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T26**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,50
1°	42,50	42,00
2°	51,00	51,00
3°	61,00	61,00
4°	72,50	71,00
5°	83,00	82,50
6°	92,00	90,00
7°	95,00	96,00
8°	105,00	106,00
9°	110,00	110,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T27**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,50	33,00
1°	44,50	45,00
2°	56,50	57,00
3°	65,00	64,00
4°	74,50	72,50
5°	81,50	81,50
6°	91,00	90,00
7°	96,00	95,00
8°	107,00	106,00
9°	112,00	111,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T28**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	30,50
1°	40,00	41,00
2°	50,00	52,50
3°	61,00	62,00
4°	73,50	75,00
5°	84,50	82,00
6°	94,00	90,00
7°	99,00	98,50
8°	110,00	109,00
9°	116,00	115,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T29**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	30,00	31,00
1°	41,00	40,00
2°	50,50	50,50
3°	61,00	61,00
4°	72,00	70,00
5°	83,50	85,00
6°	94,00	96,00
7°	100,00	101,00
8°	110,00	111,00
9°	115,00	116,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T30**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	33,00	31,50
1°	45,00	45,00
2°	57,50	57,50
3°	66,50	66,50
4°	75,50	77,50
5°	85,00	86,00
6°	98,50	99,50
7°	103,00	103,00
8°	113,00	113,00
9°	118,00	118,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T31**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	32,00
1°	44,00	46,00
2°	57,50	57,00
3°	65,00	65,00
4°	74,00	74,00
5°	86,00	86,00
6°	96,00	96,00
7°	101,00	100,00
8°	113,00	112,00
9°	118,00	117,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T32**
DATA:		16/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	33,00	32,50
1°	46,50	46,00
2°	55,50	55,50
3°	63,00	64,00
4°	73,00	72,00
5°	84,00	82,50
6°	96,00	97,50
7°	102,00	101,50
8°	112,00	111,50
9°	118,00	117,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T33**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,50	31,50
1°	42,50	43,00
2°	51,50	50,50
3°	61,00	60,00
4°	70,00	71,50
5°	85,00	80,00
6°	91,00	90,00
7°	96,50	94,50
8°	107,00	105,00
9°	112,50	111,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T34**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	30,00
1°	42,00	40,00
2°	52,50	52,50
3°	60,00	60,00
4°	70,50	71,50
5°	80,50	80,00
6°	91,50	92,50
7°	95,00	95,00
8°	106,00	106,50
9°	111,00	112,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T35**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	31,00
1°	43,00	43,50
2°	51,00	52,50
3°	60,00	61,50
4°	70,00	70,00
5°	84,00	82,00
6°	96,00	97,00
7°	99,00	99,00
8°	110,00	110,50
9°	116,00	115,50

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T36**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	31,00	30,00
1°	43,00	42,00
2°	53,50	51,50
3°	61,00	60,50
4°	73,50	71,50
5°	80,00	80,00
6°	92,50	91,00
7°	101,00	101,00
8°	110,00	109,00
9°	115,00	115,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T37**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,00
1°	42,00	42,50
2°	53,00	51,00
3°	60,00	61,00
4°	70,00	70,00
5°	80,00	80,00
6°	90,00	90,00
7°	94,00	96,00
8°	103,00	107,00
9°	108,00	112,00

EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS DO SUBSTRATO COM O REVESTIMENTO DE ARGAMASSA		
SUBSTRATO:		**T40**
DATA:		27/02/2023
Camadas	Profundidades de extração (mm)	
	Esquerda	Direita
Leitura inicial	32,00	32,50
1°	42,00	42,50
2°	52,00	51,50
3°	61,00	61,50
4°	70,00	70,00
5°	81,00	80,00
6°	90,00	90,00
7°	95,00	95,00
8°	104,00	106,00
9°	109,00	111,00

APÊNDICE 05 – COMPORTAMENTO DOS PERFIS DE ÍONS CLORETO EM RELAÇÃO A PROFUNDIDADE DE PENETRAÇÃO

AMOSTRA DO SUBSTRATO T0 (SAUDÁVEL)		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
2,50	0,693	0,025
7,38	0,603	0,012
12,25	0,595	0,016
17,13	0,587	0,000
26,00	0,592	0,012
34,88	0,606	0,004
39,75	0,623	0,012
44,88	0,670	0,008
49,38	0,645	0,015

AMOSTRA DO SUBSTRATO T1		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
2,75	0,884	0,706
8,00	0,893	0,665
12,75	0,974	0,595
17,50	0,771	0,606
23,00	0,898	0,481
29,25	0,925	0,412
34,88	0,885	0,263
39,75	0,789	0,241
44,88	0,841	0,235

APÊNDICE 05a – COMPORTAMENTO DOS PERFIS AOS 3 CM

AMOSTRA DO SUBSTRATO T2		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,90	0,751	0,654
14,50	0,736	0,384
21,85	0,764	0,305
29,13	0,702	0,264
36,50	0,693	0,143
41,88	0,724	0,097

AMOSTRA DO SUBSTRATO T3		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,75	0,762	0,648
15,50	0,786	0,106
23,88	0,777	0,085
31,00	0,766	0,089
38,38	0,777	0,089

AMOSTRA DO SUBSTRATO T4		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,25	0,815	0,478
17,25	0,816	0,258
24,63	0,837	0,152
31,75	0,970	0,106
38,63	0,871	0,110

AMOSTRA DO SUBSTRATO T5		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,63	0,937	0,361
14,00	0,958	0,326
20,88	0,883	0,246
27,63	0,958	0,146
34,63	0,911	0,092

AMOSTRA DO SUBSTRATO T6		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,50	0,766	0,435
14,63	0,798	0,422
23,50	0,813	0,283
31,25	0,799	0,258
38,25	0,815	0,126

AMOSTRA DO SUBSTRATO T11		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,25	0,952	0,391
14,88	0,919	0,233
21,75	0,966	0,152
29,38	0,878	0,111
37,00	0,906	0,117

AMOSTRA DO SUBSTRATO T12		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,63	0,934	0,606
14,50	0,918	0,516
22,25	0,937	0,240
31,38	0,921	0,146
40,63	0,894	0,159

AMOSTRA DO SUBSTRATO T14		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,38	0,989	0,472
13,63	0,811	0,850
20,88	0,901	0,568
27,88	0,956	0,265
35,00	0,923	0,071

AMOSTRA DO SUBSTRATO T15		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,63	0,811	0,342
15,75	0,865	0,495
22,25	0,832	0,544
30,50	0,881	0,283
39,00	0,860	0,204

AMOSTRA DO SUBSTRATO T16		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,63	0,821	0,311
17,88	0,897	0,517
26,38	0,815	0,616
35,00	0,892	0,303
42,00	0,860	0,179

AMOSTRA DO SUBSTRATO T17		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,13	0,789	0,321
17,88	0,842	0,343
27,38	0,928	0,390
35,13	0,827	0,221
41,00	0,850	0,115

AMOSTRA DO SUBSTRATO T18		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,13	0,740	0,162
17,25	0,802	0,133
26,38	0,770	0,146
36,25	0,815	0,053
44,00	0,743	0,011

AMOSTRA DO SUBSTRATO T19		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,13	0,800	0,249
16,63	0,810	0,573
24,25	0,855	0,496
32,13	0,801	0,276
40,00	0,817	0,119

APÊNDICE 05b – COMPORTAMENTO DOS PERFIS AOS 5 CM

AMOSTRA DO SUBSTRATO T7		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,25	0,783	0,158
13,13	0,816	0,556
24,38	0,922	0,455
34,88	0,781	0,387
42,13	0,917	0,333
51,00	0,848	0,256
58,50	0,892	0,232

AMOSTRA DO SUBSTRATO T8		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,75	0,933	0,244
17,88	0,881	0,520
26,38	0,939	0,456
36,00	0,948	0,390
43,63	0,925	0,300
52,75	0,895	0,270
62,13	0,945	0,230

AMOSTRA DO SUBSTRATO T9		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,63	0,978	0,268
16,38	0,844	0,852
26,00	0,791	0,661
35,50	0,871	0,415
43,63	0,836	0,170
51,75	0,871	0,058
59,00	0,259	0,055

AMOSTRA DO SUBSTRATO T10		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,75	0,891	0,322
14,63	0,882	0,621
24,38	0,874	0,503
34,88	0,897	0,263
43,38	0,887	0,046
51,75	0,931	0,083
59,88	0,915	0,068

AMOSTRA DO SUBSTRATO T13		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,63	0,988	0,566
15,88	0,811	0,783
26,13	0,889	0,440
36,50	0,988	0,264
44,00	0,897	0,105
53,00	0,955	0,084
62,88	0,915	0,072

AMOSTRA DO SUBSTRATO T20		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,50	0,789	0,184
17,63	0,826	0,567
26,63	0,912	0,459
36,88	0,891	0,302
44,63	0,907	0,244
50,50	0,858	0,270
56,75	0,882	0,210

AMOSTRA DO SUBSTRATO T21		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,88	0,923	0,300
17,88	0,891	0,571
27,25	0,929	0,506
36,38	0,958	0,107
42,63	0,915	0,037
49,13	0,905	0,031
56,75	0,935	0,030

AMOSTRA DO SUBSTRATO T23		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,38	0,769	0,210
15,50	0,846	0,606
25,63	0,892	0,480
35,25	0,912	0,328
41,88	0,887	0,300
48,38	0,878	0,275
55,00	0,862	0,202

AMOSTRA DO SUBSTRATO T24		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,38	0,913	0,319
15,63	0,901	0,636
25,13	0,919	0,543
34,88	0,968	0,080
42,38	0,905	0,061
50,38	0,895	0,063
58,63	0,925	0,084

AMOSTRA DO SUBSTRATO T25		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,75	0,978	0,326
16,13	0,864	0,693
22,13	0,771	0,587
27,75	0,891	0,414
34,63	0,816	0,113
42,88	0,891	0,081
50,88	0,749	0,038

AMOSTRA DO SUBSTRATO T38		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,25	0,799	0,351
14,50	0,870	0,619
24,50	0,770	0,548
34,38	0,890	0,416
41,50	0,840	0,293
49,50	0,927	0,243
58,88	0,874	0,120

AMOSTRA DO SUBSTRATO T39		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,13	0,871	0,354
15,25	0,902	0,683
25,13	0,854	0,519
36,13	0,917	0,396
45,00	0,867	0,162
52,88	0,951	0,110
61,00	0,895	0,085

APÊNDICE 05c – COMPORTAMENTO DOS PERFIS AOS 7 CM

AMOSTRA DO SUBSTRATO T26		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,38	0,773	0,153
15,13	0,741	0,123
24,50	0,794	0,134
34,88	0,745	0,119
45,75	0,746	0,119
55,38	0,748	0,133
61,75	0,797	0,126
69,00	0,832	0,114
76,25	0,819	0,135

AMOSTRA DO SUBSTRATO T27		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,00	0,805	0,109
18,00	0,814	0,109
27,88	0,797	0,108
36,25	0,820	0,100
44,75	0,804	0,108
53,25	0,855	0,110
60,25	0,775	0,114
68,25	0,850	0,112
76,25	0,879	0,106

AMOSTRA DO SUBSTRATO T28		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
4,88	0,773	0,200
15,13	0,741	0,215
25,63	0,794	0,221
37,13	0,745	0,247
48,00	0,746	0,219
56,88	0,748	0,203
64,63	0,797	0,248
73,38	0,832	0,253
81,75	0,819	0,209

AMOSTRA DO SUBSTRATO T29		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,00	0,805	0,264
15,00	0,814	0,209
25,25	0,797	0,186
35,50	0,820	0,190
47,13	0,804	0,193
59,13	0,855	0,167
67,25	0,775	0,160
75,00	0,850	0,168
82,50	0,879	0,192

AMOSTRA DO SUBSTRATO T30		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,38	0,934	0,172
19,00	0,904	0,170
29,75	0,864	0,183
39,25	0,864	0,167
48,75	0,857	0,162
60,00	0,824	0,252
68,75	0,845	0,233
75,75	0,891	0,157
83,25	0,881	0,165

AMOSTRA DO SUBSTRATO T31		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,63	0,797	0,203
19,38	0,941	0,185
29,38	0,834	0,207
37,75	0,769	0,225
48,25	0,764	0,226
59,25	0,906	0,223
66,50	0,856	0,216
74,75	0,842	0,220
83,25	0,907	0,199

AMOSTRA DO SUBSTRATO T32		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,75	0,934	0,105
18,13	0,904	0,105
26,75	0,864	0,103
35,25	0,864	0,111
45,13	0,857	0,130
57,25	0,824	0,141
66,50	0,845	0,232
74,00	0,891	0,106
82,00	0,881	0,112

AMOSTRA DO SUBSTRATO T33		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,63	0,773	0,245
15,38	0,741	0,215
24,25	0,794	0,203
34,13	0,745	0,219
45,13	0,746	0,200
55,00	0,748	0,222
61,50	0,797	0,284
69,25	0,832	0,278
77,38	0,819	0,235

AMOSTRA DO SUBSTRATO T34		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
5,25	0,805	0,308
16,25	0,814	0,279
25,75	0,797	0,275
35,00	0,820	0,268
45,13	0,804	0,263
55,63	0,855	0,250
63,00	0,775	0,242
70,13	0,850	0,227
78,38	0,879	0,272

AMOSTRA DO SUBSTRATO T35		
Profundidade (mm)	Massa da amostra (g)	Teor de Cloretos % massa do substrato
6,13	0,797	0,105
16,50	0,941	0,087
25,25	0,834	0,105
34,38	0,769	0,114
45,50	0,764	0,114
58,75	0,906	0,113
66,75	0,856	0,109
73,63	0,842	0,111
82,00	0,907	0,097

AMOSTRA DO SUBSTRATO T36		
Profundidade (mm)	**Massa da amostra (g)**	**Teor de Cloretos % massa do substrato**
6,00	0,934	0,202
17,00	0,904	0,201
26,13	0,864	0,208
36,13	0,864	0,208
45,75	0,857	0,245
55,38	0,824	0,270
65,88	0,845	0,275
74,75	0,891	0,173
81,75	0,881	0,173

AMOSTRA DO SUBSTRATO T37		
Profundidade (mm)	**Massa da amostra (g)**	**Teor de Cloretos % massa do substrato**
5,13	0,797	0,247
15,13	0,941	0,230
24,25	0,834	0,215
33,25	0,769	0,160
43,00	0,764	0,188
53,00	0,906	0,231
60,50	0,856	0,233
68,00	0,842	0,263
75,50	0,907	0,238

AMOSTRA DO SUBSTRATO T40		
Profundidade (mm)	**Massa da amostra (g)**	**Teor de Cloretos % massa do substrato**
5,00	0,801	0,104
14,75	0,890	0,084
24,25	0,802	0,118
33,38	0,788	0,120
43,00	0,798	0,180
53,00	0,855	0,178
60,25	0,800	0,143
67,75	0,879	0,098
75,25	0,923	0,065