

ANDRÉ BARROS BOLZANI PETERSEN

VIDA ÚTIL, MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO

FOCO EM FACHADAS
REVESTIDAS COM
REBOCO E PINTURA



São Paulo – SP
2022



LISTA FIGURAS

Figura 1 – Desempenho durante o ciclo de vida da construção.	33
Figura 2 – Custo relativo da intervenção segundo a sua natureza.....	34
Figura 3 – Sistemática da predição de vida útil.....	63
Figura 4 – Estudo de caso de uma das inspeções de fachadas rebocadas.	72
Figura 5 – Fluxo detalhado da proposta de modificação.	103
Figura 6 – Relação entre os estados de degradação e as ações de manutenção em fachadas rebocadas.	107
Figura 7 – Curva de degradação em fachadas rebocadas sem manutenção....	107
Figura 8 – Curva de degradação em fachadas rebocadas com operações periódicas de limpeza.	108
Figura 9 – Curva de degradação em fachadas rebocadas com pequenas intervensões periódicas.....	108
Figura 10 – Curva de degradação em fachadas rebocadas com uma única grande intervenção.....	109
Figura 11 – Curva de degradação proposta com base em estratégias preventivas.....	109
Figura 12 – Revestimento estudado.....	122
Figura 13 – Controle de qualidade do revestimento aplicado.....	126
Figura 14 – Níveis de qualidade das tintas.....	129
Figura 15 – Composição das Tintas.....	130
Figura 16 – Etapas do Revestimento de Pintura.	132
Figura 17 – Organograma dos tipos de inspeção.....	160
Figura 18 – Fluxograma de diagnóstico construtivo de edificações em serviço sem o uso de testes destrutivos.	161

Figura 19 – Padrões de curvas de degradação.....	165
Figura 20 – Solicitações sobre os revestimentos de fachada.....	171
Figura 21 – Processos de transferência de calor em revestimentos.....	171
Figura 22 – Exemplo da relação entre defeitos e outros fatores.....	177
Figura 23 – Metodologia de origem para análise sistêmica da condição de degradação das fachadas	193
Figura 24 – Metodologia adotada para mensuração dos efeitos da manutenção na degradação das fachadas.....	194
Figura 25 – Vida útil e ciclo de vida para os rebocos sem manutenção.	237
Figura 26 – Vida útil e ciclo de vida para os rebocos após ações de limpeza. .	238
Figura 27 – Vida útil e ciclo de vida para os rebocos após ações de limpeza e de recomposição parcial.....	238
Figura 28 – Vida útil e ciclo de vida esperado para o revestimento em reboco.....	239
Figura 29 – Vida útil e ciclo de vida esperado para o revestimento em reboco.....	283
Figura 30 – Vida útil e ciclo de vida para as pinturas sem manutenção.	311
Figura 31 – Vida útil e ciclo de vida para as pinturas após ações de limpeza.....	311
Figura 32 – Vida útil e ciclo de vida esperado para o revestimento em pintura.	312
Figura 33 – Vida útil e ciclo de vida esperado para a pintura.....	352



LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Limpeza com escovação das manchas e hidrojateamento.....	202
Fotografia 2 – Tamponamento de fissuras com massa nivelador.	203
Fotografia 3 – Tamponamento de fissuras com argamassa colante.	204
Fotografia 4 – Recuperação parcial do reboco.....	205
Fotografia 5 – Remoção integral do reboco.....	205
Fotografia 6 – Recuperação integral do reboco.....	206
Fotografia 7 – Estudo de caso anterior ao reparo.	207
Fotografia 8 – Estudo de caso durante o reparo.	208
Fotografia 9 – Estudo de caso antes da limpeza com hidrojateamento.....	284
Fotografia 10 – Estudo de caso durante a limpeza com hidrojateamento. ...	284
Fotografia 11 – Estudo de caso durante a limpeza com hidrojateamento. ...	285
Fotografia 12 – Desplacamento da película de tinta decorrente da limpeza.....	285
Fotografia 13 – Aplicação de fundo preparador.....	286
Fotografia 14 – Aplicação da primeira demão de pintura sobre o fundo preparador.....	287
Fotografia 15 – Aplicação da segunda demão de pintura (à esquerda) e da terceira demão (à direita).	288
Fotografia 16 – Estudo de caso anterior ao reparo.....	289
Fotografia 17 – Estudo de caso durante o reparo.	289

LISTA GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição probabilística de transição de nível de degradação para fachadas rebocadas.	81
Gráfico 2 – Distribuição probabilística de transição de nível de degradação para fachadas revestidas com pintura.....	81
Gráfico 3 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Antes-R} \times Idade_{Parcial}$).....	211
Gráfico 4 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Antes-R} \times Idade_{Total}$).....	211
Gráfico 5 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Antes-R\ Médio} \times Idade_{Parcial}$).....	212
Gráfico 6 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Antes-R\ Médio} \times Idade_{Total}$).....	212
Gráfico 7 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Limpeza-R} \times Idade_{Parcial}$).....	215
Gráfico 8 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Limpeza-R} \times Idade_{Total}$).....	215
Gráfico 9 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Limpeza-R\ Médio} \times Idade_{Parcial}$).....	216
Gráfico 10 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Limpeza-R\ Médio} \times Idade_{Total}$).....	216
Gráfico 11 – Relação de $Sw_{Antes-R}$ e $Sw_{Limpeza-R}$	218
Gráfico 12 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Reboco} \times Idade_{Parcial}$).....	221
Gráfico 13 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{Reboco} \times Idade_{Total}$).....	221

Gráfico 14 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{\text{Reboco Médio}} \times Idade_{\text{Parcial}}$).....	223
Gráfico 15 – Padrão de degradação da amostra de fachadas em reboco ($Sw_{\text{Reboco Médio}} \times Idade_{\text{Total}}$).....	223
Gráfico 16 – Relação de $Sw_{\text{Limpeza-R}} \times Sw_{\text{Reboco}}$	225
Gráfico 17 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-R}} \times Idade_{\text{Total}}$) – histórico de manutenção.....	229
Gráfico 18 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-R}} \times Idade_{\text{Parcial}}$) – coloração.....	229
Gráfico 19 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-R}} \times Idade_{\text{Parcial}}$) – proximidade da poluição.....	230
Gráfico 20 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-R}} \times Idade_{\text{Parcial}}$) – sombreamento da fachada.....	231
Gráfico 21 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-R}} \times Idade_{\text{Parcial}}$) – orientação geográfica.....	232
Gráfico 22 – Distribuição probabilística de transição de nível de degradação para fachadas rebocadas.....	270
Gráfico 23 – Probabilidade de o reboco atingir o final da vida útil.....	273
Gráfico 24 – Probabilidade de o reboco atingir o final da vida útil.....	274
Gráfico 25 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Antes-P}} \times Idade_{\text{Parcial}}$).....	292
Gráfico 26 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Antes-P}} \times Idade_{\text{Total}}$).....	292
Gráfico 27 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Antes-P Médio}} \times Idade_{\text{Parcial}}$).....	294
Gráfico 28 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Antes-P Médio}} \times Idade_{\text{Total}}$).....	294
Gráfico 29 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Limpeza-P}} \times Idade_{\text{Parcial}}$).....	296
Gráfico 30 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Limpeza-P}} \times Idade_{\text{Total}}$).....	296
Gráfico 31 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Limpeza-P Médio}} \times Idade_{\text{Parcial}}$).....	298
Gráfico 32 – Padrão de degradação da amostra de fachadas pintadas ($Sw_{\text{Limpeza-P Médio}} \times Idade_{\text{Total}}$).....	298

Gráfico 33 – Relação de $Sw_{\text{Antes-P}}$ e $Sw_{\text{Limpeza-P}}$	300
Gráfico 34 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-P}}$ x $Idade_{\text{Total}}$) – histórico de manutenção.	303
Gráfico 35 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-P}}$ x $Idade_{\text{Parcial}}$) – coloração.	304
Gráfico 36 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-P}}$ x $Idade_{\text{Parcial}}$) – proximidade da poluição.	305
Gráfico 37 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-P}}$ x $Idade_{\text{Parcial}}$) – sombreamento (obstrução/sombra) da fachada.	306
Gráfico 38 – Padrão de degradação ($Sw_{\text{Antes-P}}$ x $Idade_{\text{Parcial}}$) – orientação geográfica.	306
Gráfico 39 – Distribuição probabilística de transição de nível de degradação para fachadas pintadas.	337
Gráfico 40 – Probabilidade de a pintura atingir o final da vida útil.....	340
Gráfico 41 – Probabilidade de a pintura atingir o final da vida útil.	341
Gráfico 42 – Probabilidade de a pintura atingir o final do ciclo de vida.....	344



LISTA QUADROS

Quadro 1 – Critérios de avaliação da vida útil do edifício.	59
Quadro 2 – Prazos de garantia recomendados.	61
Quadro 3 – Modelos determinísticos e estocásticos aplicados no âmbito da predição da vida útil de rebocos e de pinturas.	67
Quadro 4 – Definição dos níveis de degradação em fachadas rebocadas.....	70
Quadro 5 – Definição dos níveis de degradação estéticos em fachadas revestidas com pintura.	73
Quadro 6 – Definição dos níveis de degradação de fissurações.	78
Quadro 7 – Definição dos níveis de degradação de descascamento e de empolamento.....	79
Quadro 8 – Relação entre a severidade da degradação e a condição dos revestimentos.....	80
Quadro 9 – Resumo dos diferentes métodos de predição de vida útil aplicados.....	83
Quadro 10 – Vida útil estimada para fachadas com revestimento em reboco.	91
Quadro 11 – Vida útil estimada para fachadas com revestimento em pintura.	92
Quadro 12 – Temas recorrentes relacionados à melhoria operacional e ao gerenciamento.....	100
Quadro 13 – Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício.	104
Quadro 14 – Custo de manutenção e de reposição ao longo da vida útil.	104
Quadro 15 – Ações a serem tomadas segundo níveis de degradação e de manutenção.....	113
Quadro 16 – Planejamento proativo de manutenção em fachadas revestidas com pintura.	114

Quadro 17 – Periodicidade, atividade e classificação das equipes que podem ser incumbidas de atuar no revestimento estudado.	116
Quadro 18 – Métodos de avaliação do estado de conservação e o resultado que se obtém em cada um.....	118
Quadro 19 – Histórico internacional do desenvolvimento da patologia das construções.....	139
Quadro 20 – Comparação entre sistemas e elementos da construção.....	141
Quadro 21 – Hierarquia sugerida para fins de segurança.	143
Quadro 22 – Ranking dos níveis de condição, conforme proposto por diferentes autores.	144
Quadro 23 – Critérios para hierarquização de intervenção.	146
Quadro 24 – Intervalos para priorização de intervenção.	147
Quadro 25 – Tipos de inspeção, objeto e qualificação requerida.	148
Quadro 26 – Análise comparativa do potencial de cada técnica para diagnósticos de fachadas rebocadas em serviço.	150
Quadro 27 – Lista de classificação proposta de métodos de diagnóstico para sistemas de inspeções globais.	151
Quadro 28 – Sumário de ensaios relacionados à avaliação dos revestimentos de argamassa.....	156
Quadro 29 – Técnicas de diagnóstico em revestimentos por pintura e norma aplicável quando existente.	158
Quadro 30 – Noções e especificações para a seleção de produtos em função dos efeitos das mudanças climáticas.	163
Quadro 31 – Principais ocorrências com a utilização de tinta látex não conforme.	175
Quadro 32 – Principais ocorrências pela utilização de massa niveladora não conforme.	176
Quadro 33 – Matriz de correlação entre as manchas e as suas possíveis causas diretas.....	180
Quadro 34 – Causa da mancha.	181
Quadro 35 – Ações de reparação de acordo com o tipo de defeito em fachadas rebocadas.	183
Quadro 36 – Classificação das ações de reparação em fachadas rebocadas....	183

Quadro 37 – Correlação entre fissuras e suas possíveis causas diretas.	186
Quadro 38 – Causa da fissuração.	187
Quadro 39 – Matriz de correlação entre as anomalias por perda de aderência e suas principais causas.	189
Quadro 40 – Causa da perda de aderência.	190
Quadro 41 – Distribuição da amostra coletada para os rebocos.	209
Quadro 42 – Resumo das regressões lineares simples calculadas para os rebocos, antes da manutenção.	213
Quadro 43 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para os rebocos, após a limpeza.	217
Quadro 44 – $\Delta Sw (Sw_{\text{Limpeza-R}} - Sw_{\text{Antes-R}})$	218
Quadro 45 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para os rebocos, após a reparação parcial do reboco.	224
Quadro 46 – $\Delta Sw (Sw_{\text{Reboco}} - Sw_{\text{Limpeza-R}})$	225
Quadro 47 – Resumo das regressões simples lineares (Sw x Idades) para os rebocos.	228
Quadro 48 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para $Sw_{\text{Antes-R}}$	232
Quadro 49 – Resumo das regressões simples lineares calculadas ($Sw_{\text{Limpeza-R}}$ x Idades) pelas demais variáveis independentes.	234
Quadro 50 – Resumo das regressões simples lineares calculadas (Sw_{Reboco} x Idades) pelas demais variáveis independentes.	234
Quadro 51 – Resumo da vida útil média estimada e do momento em que as manutenções foram realizadas (rebocos).	235
Quadro 52 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (vida útil).	240
Quadro 53 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (vida útil).	241
Quadro 54 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (vida útil).	241
Quadro 55 – Vida útil do reboco estimada por regressões múltiplas lineares, antes da manutenção.	243
Quadro 56 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (ciclo de vida).	243
Quadro 57 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (ciclo de vida).	244
Quadro 58 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{\text{Antes-R}}$ (ciclo de vida).	244

Quadro 59 – Ciclo de vida do reboco estimado por regressões múltiplas lineares, antes da manutenção.....	246
Quadro 60 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{Limpeza-R}$ (vida útil).....	247
Quadro 61 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-R}$ (vida útil).....	247
Quadro 62 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-R}$ (vida útil).....	248
Quadro 63 – Vida útil do reboco estimada por regressões múltiplas lineares, após a limpeza.....	249
Quadro 64 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{Limpeza-R}$ (ciclo de vida).....	250
Quadro 65 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-R}$ (ciclo de vida).....	250
Quadro 66 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-R}$ (ciclo de vida).....	251
Quadro 67 – Ciclo de vida do reboco estimado por regressões múltiplas lineares, após a limpeza.....	252
Quadro 68 – Sumarização do modelo ^{b,c} para Sw_{Reboco} (vida útil).....	253
Quadro 69 – ANOVA ^{a,b} para Sw_{Reboco} (vida útil).....	254
Quadro 70 – Coeficientes ^{a,b} para Sw_{Reboco} (vida útil).....	254
Quadro 71 – Vida útil do reboco estimada por regressões múltiplas lineares, após a recuperação parcial.....	255
Quadro 72 – Sumarização do modelo ^{b,c} para Sw_{Reboco} (ciclo de vida).....	256
Quadro 73 – ANOVA ^{a,b} para Sw_{Reboco} (ciclo de vida).....	256
Quadro 74 – Coeficientes ^{a,b} para Sw_{Reboco} (ciclo de vida).....	257
Quadro 75 – Ciclo de vida do reboco estimado por regressões múltiplas lineares, após a recuperação parcial.....	258
Quadro 76 – Resumo das regressões múltiplas lineares ($Sw_{Antes-R}$).....	258
Quadro 77 – Resumo das regressões múltiplas lineares ($Sw_{Limpeza-R}$).....	259
Quadro 78 – Resumo das regressões múltiplas lineares (Sw_{Reboco}).....	260
Quadro 79 – Fatores utilizados para estimativa da vida útil de referência 2 e 3 e do ciclo de vida de referência 2 e 3 dos rebocos.....	261
Quadro 80 – Estimativa da vida útil de referência dos rebocos.....	262
Quadro 81 – Fatores utilizados para estimativa da vida útil e do ciclo de vida dos rebocos pelo método fatorial.....	263
Quadro 82 – Relação entre o Método Fatorial (MF) e o Método Gráfico (MG) para cada ponto (rebocos).....	264

Quadro 83 – Definição dos níveis de degradação em fachadas rebocadas.	266
Quadro 84 – Estimativas de parâmetro para os rebocos.	268
Quadro 85 – Classificação quanto ao término da vida útil dos rebocos ^a	271
Quadro 86 – Variáveis da equação para os rebocos.	272
Quadro 87 – Distribuição da amostra coletada para as pinturas.	290
Quadro 88 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para as pinturas, antes da manutenção.	295
Quadro 89 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para as pinturas, após a limpeza.	299
Quadro 90 – ΔSw ($Sw_{Antes-P} - Sw_{Limpeza-P}$).	300
Quadro 91 – Resumo das regressões simples lineares (sw x idades) para as pinturas.	302
Quadro 92 – Resumo das regressões simples lineares calculadas para $Sw_{Antes-P}$	307
Quadro 93 – Resumo das regressões simples lineares calculadas ($Sw_{Limpeza-P}$ x Idades) pelas demais variáveis independentes.	308
Quadro 94 – Resumo da vida útil média estimada e do momento em que as manutenções foram realizadas (pinturas).	309
Quadro 95 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{Antes-P}$ (vida útil).	313
Quadro 96 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{Antes-P}$ (vida útil).	313
Quadro 97 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{Antes-P}$ (vida útil).	314
Quadro 98 – Vida útil da pintura estimada por regressões múltiplas lineares, antes da manutenção.	315
Quadro 99 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{Antes-P}$ (ciclo de vida).	316
Quadro 100 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{Antes-P}$ (ciclo de vida).	316
Quadro 101 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{Antes-P}$ (ciclo de vida).	317
Quadro 102 – Ciclo de vida da pintura estimado por regressões múltiplas lineares, antes da manutenção.	318
Quadro 103 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{Limpeza-P}$ (vida útil).	319
Quadro 104 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-P}$ (vida útil).	319
Quadro 105 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{Limpeza-P}$ (vida útil).	320

Quadro 106 – Vida útil da pintura estimada por regressões múltiplas lineares, após a limpeza.....	321
Quadro 107 – Sumarização do modelo ^{b,c} para $Sw_{\text{Limpeza-P}}$ (ciclo de vida).....	322
Quadro 108 – ANOVA ^{a,b} para $Sw_{\text{Limpeza-P}}$ (ciclo de vida).....	322
Quadro 109 – Coeficientes ^{a,b} para $Sw_{\text{Limpeza-P}}$ (ciclo de vida).....	323
Quadro 110 – Vida útil da pintura estimada por regressões múltiplas lineares, após a limpeza.....	324
Quadro 111 – Resumo das regressões múltiplas lineares ($Sw_{\text{Antes-P}}$).	325
Quadro 112 – Resumo das regressões múltiplas lineares ($Sw_{\text{Limpeza-P}}$).....	325
Quadro 113 – Fatores utilizados para estimativa da vida útil de referência 2 e 3 e do ciclo de vida de referência 2 e 3 das pinturas.....	327
Quadro 114 – Estimativa da vida útil de referência das pinturas.....	328
Quadro 115 – Fatores utilizados para estimativa da vida útil e do ciclo de vida das pinturas pelo método fatorial.....	329
Quadro 116 – Relação entre o Método Fatorial (MF) e o Método Gráfico (MG) para cada ponto (pinturas).	330
Quadro 117 – Definição dos níveis de degradação em fachadas pintadas.	331
Quadro 118 – Estimativas de parâmetro para as pinturas.....	336
Quadro 119 – Classificação quanto ao término da vida útil das pinturas ^a	338
Quadro 120 – Variáveis da equação para as pinturas.	339
Quadro 121 – Classificação quanto ao término do ciclo de vida das pinturas ^a	342
Quadro 122 – Variáveis da equação.....	343



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida útil de projeto mínima e superior (VUP) ^a	60
Tabela 2 – Exemplos de VUP ^a	60
Tabela 3 – Ponderação relativa das anomalias em pintura ($k_{a,n}$).....	69
Tabela 4 – Constante de ponderação das anomalias em fachadas rebocadas ($k_{a,n}$)	69
Tabela 5 – Distribuição da amostra coletada com os motivos que levaram à contratação de serviços de manutenção.	200



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	xxix
1. INTRODUÇÃO	31
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	31
1.2 HISTÓRICO E PROBLEMAS DETECTADOS NA PRÁTICA	36
1.2.1 Subjetividade do diagnóstico.....	38
1.2.2 Aspectos ambiental, social e econômico	40
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA.....	42
1.4 OBJETIVOS	45
1.4.1 Objetivo geral	45
1.4.2 Objetivos específicos.....	45
1.5 ESCOPO E LIMITAÇÕES DA ANÁLISE.....	46
1.6 CONTRIBUIÇÕES.....	46
1.7 JUSTIFICATIVA.....	47
2. VIDA ÚTIL DAS CONSTRUÇÕES	53
2.1 MÉTODOS PARA PREDIÇÃO DE VIDA ÚTIL	62
2.1.1 Método fatorial	65
2.1.2 Métodos determinísticos, estocásticos e de engenharia/ computacionais	66
2.1.3 Vida útil estimada para o sistema pesquisado.....	90
2.2 MANUTENÇÃO.....	93

3. REVESTIMENTOS DE FACHADA.....	121
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO REBOCO E DA PINTURA	121
3.1.1 Argamassa inorgânica – Reboco	122
3.1.2 Pintura	126
3.2 PATOLOGIA	138
3.2.1 Variáveis intervenientes na vida útil das fachadas	161
3.2.2 Possíveis anomalias.....	172
3.2.2.1 Manchas	178
3.2.2.2 Fissuração	184
3.2.2.3 Perda de aderência e coesão	188
4. MÉTODO	191
5. RESULTADOS	199
5.1 REVESTIMENTO EM REBOCO.....	201
5.1.1 Serviços de manutenção realizados.....	201
5.1.1.1 Serviços de limpeza	201
5.1.1.2 Serviços de recuperação do reboco	202
5.1.2 Distribuição da amostra.....	206
5.1.3 Método gráfico e regressão simples linear.....	210
5.1.3.1 Antes das ações de manutenção	210
5.1.3.2 Durante as ações de manutenção	213
5.1.3.3 Após as ações de recuperação parcial.....	220
5.1.3.4 Demais variáveis independentes	228
5.1.3.5 Método gráfico para cada ponto	234
5.1.4 Regressão múltipla linear	240
5.1.4.1 Antes das ações de manutenção	240
5.1.4.2 Durante as ações de manutenção	246
5.1.4.3 Após as ações de manutenção	253
5.1.5 Método fatorial	260
5.1.6 Distribuição de probabilidade	265

5.1.7 Considerações finais do subcapítulo	274
5.2 REVESTIMENTO EM PINTURA	283
5.2.1 Serviços de manutenção realizados.....	283
5.2.1.1 Serviços de limpeza	283
5.2.1.2 Serviços de repintura.....	286
5.2.2 Distribuição da amostra.....	288
5.2.3 Método gráfico e regressão simples linear.....	291
5.2.3.1 Antes das ações de manutenção	291
5.2.3.2 Durante as ações de manutenção	295
5.2.3.3 Após as ações de manutenção	302
5.2.3.4 Demais variáveis independentes	303
5.2.3.5 Método gráfico para cada elemento	308
5.2.4 Regressão múltipla linear	312
5.2.4.1 Antes das ações de manutenção	312
5.2.4.2 Durante as ações de manutenção	319
5.2.4.3 Após as ações de manutenção	324
5.2.5 Método fatorial	326
5.2.6 Distribuição de probabilidade	331
5.2.7 Considerações finais do subcapítulo	344
6. CONCLUSÕES	353
6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	357
REFERÊNCIAS	359



APRESENTAÇÃO

A manutenção das edificações é fundamental para garantir um desempenho adequado dos sistemas, dos elementos e dos componentes construtivos, pois o aparecimento de anomalias prejudica o desempenho e reduz o ciclo de vida das construções. A inspeção predial, associada à previsão de vida útil e do ciclo de vida, é uma alternativa para o planejamento de prazos e de custos de manutenção nas construções em operação. Por outro lado, poucos estudos encontrados focam o efeito que a manutenção tem sobre a degradação em si, estando a maioria dos trabalhos relacionados à otimização de custos. O tema desta pesquisa é avaliar o impacto dos serviços de manutenção em fachadas revestidas com reboco e com pintura. Mais especificamente, o objetivo do trabalho é adaptar e estender um método existente, avaliando o efeito das diferentes ações de manutenção no ciclo de vida desses revestimentos. Desse modo, além disso, e de verificar a necessidade e a amplitude das manutenções que se faziam necessárias, são estimados novos períodos de vida útil e de ciclo de vida, com e sem ações de manutenção, a fim de que se possa regionalizar e ampliar as previsões já existentes. A pesquisa foi realizada com base em coleta de informações, em inspeções *in situ* e em previsões de vida útil e do ciclo de vida de fachadas de edificações verticais na cidade de Porto Alegre, RS, Brasil, em diferentes momentos (antes e depois da realização de serviços de manutenção). Os modelos estatísticos utilizados apresentaram significância e coerência teórica e física. Os resultados demonstraram, por diferentes métodos de previsão, a probabilidade de acréscimo de durabilidade e, em consequência, maiores períodos de vida útil. Dentre as principais conclusões, verifica-se que as distintas intervenções possuem diferentes impactos. Para o caso da pesquisa, a limpeza reduz aproximadamente 13% da degradação global do reboco (12,24%) e da pintura (13,22%). Já o tamponamento de

fissuras ou a recuperação parcial dos rebocos reduz, aproximadamente, 70% da degradação global do reboco. Em outras palavras, apenas quando é realizada a recomposição integral do reboco, admite-se que a degradação global desse revestimento seja zerada. Por fim, quando a repintura é realizada, as anomalias outrora existentes são ocultadas, de modo que se pode dizer que essa intervenção zera a degradação global da pintura. Ademais, verifica-se ainda, a necessidade de sempre se interpretar esse revestimento (reboco e pintura) como um conjunto. Os resultados contribuem para a melhor compreensão do fenômeno e para uma projeção mais precisa do efeito das ações de manutenção.



INTRODUÇÃO

1

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A manutenção das edificações é um tema cuja importância supera, gradualmente, a cultura de se pensar no processo de construção limitado às fases de projeto e de execução, negligenciando as fases posteriores à entrada em serviço do edifício. As edificações são construídas para atender às exigências dos usuários durante muitos anos e, ao longo desse tempo, devem apresentar condições adequadas à função a que se destinam, resistindo ao uso e aos agentes de degradação ambiental que alteram suas propriedades originais. A manutenção representa um custo relevante na fase de uso da edificação, portanto não deve ser feita de modo improvisado, esporádico ou casual, isto é, sem a adoção de critérios técnicos e racionais. Deve ser considerada como um serviço técnico programável e como um investimento na preservação do valor patrimonial dos imóveis (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) 2012, 2013d; CHIANG *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2021a); FLORES-COLEN; BRITO, 2010; GASPAR, 2009; RUPARATHNA; HEWAGE; SADIQ, 2018; SILVA, 2015; SILVA; BRITO, 2019; SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b).

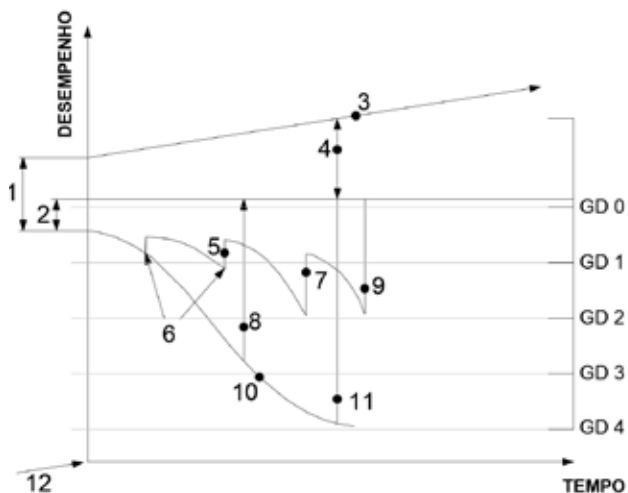
Uma vez colocadas em serviço, as construções e os seus componentes iniciam um processo natural de degradação. A escassez de recursos e, em

alguns países, a ainda incipiente cultura de manutenção também promovem a degradação do ambiente construído (CHAI *et al.*, 2014; GRUSSING, 2014; HOVDE, 2002b; INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), 2011; PAULO *et al.*, 2016; PRIETO *et al.*, 2018; SILVA, 2015; SILVA; BRITO; GASPAS, 2016b). Haagenrud (2004) chama esse fenômeno de “*build and let decay*”, cuja tradução livre seria “*construir e deixar degradar*”, no sentido de que não haverá uma operação adequada durante o uso, o que resultará em uma precoce e acelerada perda de desempenho ao longo do tempo. Dann e Cantell (2007) corroboram a ideia anterior, ao sugerirem que o raciocínio seja “*if it’s not broke, why fix it?*”, cuja tradução livre seria “se não está quebrado/defeituoso, por que intervir?”. Já Wood (2012) relaciona a pequena atenção dada à manutenção ao famoso desenho da Cinderela, em que a personagem era colocada inicialmente em segundo plano, porém era, na verdade, protagonista na história. Da mesma forma, na construção civil, a atenção dos intervenientes usualmente é direcionada apenas ao projeto e à execução, desconsiderando a relevância da manutenção.

A efetividade de regimes de manutenção nas construções está ligada à predição de vida útil dos sistemas, dos elementos e dos componentes e à qualidade do planejamento e da execução desses serviços (BRITO; SILVA, 2020). Desse modo, dada a sua importância, ao longo do tempo, foram criadas normas técnicas para predição de vida útil, tais como: AIJ (1993; BSI, 1991, 1992; NSF, 2000 *apud* SHOHET; PACIUK, 2006), Canadian Standards Association (CSA) (2019) e ISO (2011). Prieto Ibáñez (2017), Silva (2015) e Silva, Gaspar e Brito (2016b) referem-se ainda às diretrizes da Noruega, da Dinamarca, da Holanda, da Nova Zelândia e da Austrália, à American Society for Testing and Materials (ASTM, 1990 *apud* SILVA, GASPAS; BRITO, 2016b) e à European Organisation for Technical Approvals (EOTA) (1999 *apud* SILVA, GASPAS; BRITO, 2016b). No Brasil, existe a norma ABNT NBR 15.575/2013 (ABNT, 2013d, 2013e), que trata do referido assunto.

A Figura 1 indica que a vida útil de uma edificação está ligada às estratégias de manutenção adotadas, conforme itens 5, 7, 8, 9 e 11.

Figura 1 – Desempenho durante o ciclo de vida da construção.



Fonte: ISO (2017b, p. 05).

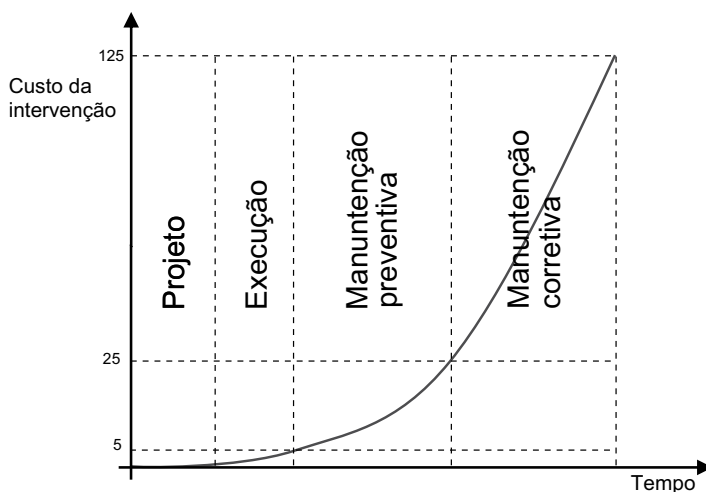
Na Figura, 1 representa a diferença expectativa/realidade; 2, a falha/dano no edifício; 3, os novos requisitos; 4, a atualização e desenvolvimento; 5, a manutenção preventiva e periódica; 6, o estado limite; 7, a remodelação; 8, o reparo; 9, a substituição; 10, o desempenho sem ações preventivas; 11, a renovação; 12, condições da construção “as built”; e GD, os graus de desempenho (ISO, 2017b).

Assim, embora o incorporador/construtor deva disponibilizar construções capazes de suportar as ações ambientais às quais estarão sujeitas, esse não pode rever, estimar ou se responsabilizar pelo valor atingido de vida útil (VU), uma vez que o desempenho está diretamente relacionado ao correto uso e à operação do bem. A constância e a efetividade das operações de manutenção, as alterações climáticas, os níveis de poluição no local, as mudanças no entorno ao longo do tempo (trânsito de veículos, rebaixamento do nível do lençol freático, obras de infraestrutura, expansão urbana), entre outros fatores, são extrínsecos à responsabilidade do incorporador/construtor (ABNT, 2013d).

Nesse sentido, se o desempenho requerido for inferior ao exigido por parte dos usuários e dos proprietários, é necessário proceder à recapita-

lização, à restauração ou à reparação dos seus sistemas ou componentes (LAI; YUEN, 2019). Ademais, o custo dessas ações cresce com o aumento da degradação. Portanto, se essas ações não forem executadas no momento adequado, anomalias prematuras podem resultar na redução da vida útil para alguns ou para todos os sistemas, os elementos e/ou os componentes da construção. Assim, existe um “custo de penalização” em termos financeiros para intervenções emergenciais ao adiar o trabalho de reparação após uma determinada condição (GRUSSING, 2014). Essa situação é ilustrada na Figura 2. Esse também é o entendimento de Amaral *et al.* (2015), Kwon *et al.* (2020) e Siegesmund e Dürrast (2014).

Figura 2 – Custo relativo da intervenção segundo a sua natureza.



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em De Sitter (1984 *apud* HELENE, 2007, p. 24).

Se a política de manutenção a adotar durante o ciclo de vida do edifício fosse planejada na fase de projeto, com níveis de desempenho pré-estabelecidos, seria possível otimizar os custos gerais e satisfazer os usuários através do conhecimento do comportamento da edificação em serviço (ISO, 2011; MADUREIRA *et al.*, 2017; NOWOGONSKA, 2019). Silva (2015) e Silva, Brito e Gaspar (2016b) ressaltam que o conhecimento de como as construções se degradam ao longo do tempo são as formas mais

eficazes de otimizar as ações de manutenção. Segundo Madureira *et al.* (2017), o planejamento das operações de manutenção é apenas possível, após a análise do desempenho dos sistemas, dos elementos e dos componentes em condições reais de utilização, da previsão da sua vida útil, das necessidades de manutenção e através de modelos de degradação que contemplem as anomalias mais frequentes.

Outro fator relevante é que a degradação das edificações não ocorre de forma uniforme, uma vez que essas são compostas por diferentes sistemas, elementos e/ou componentes, que se degradam a seu ritmo em função de estarem sujeitos à diferentes solicitações e mecanismos de degradação (NOWOGONSKA, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2018; SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b). Dentre os diferentes sistemas, elementos e componentes construtivos que carecem de constantes serviços de manutenção ao longo do ciclo de vida da construção estão os revestimentos das fachadas das edificações.

Revestimentos de fachada possuem fundamental importância no desempenho das edificações, funcionando como a primeira e mais importante camada de proteção das paredes e das estruturas contra o ambiente externo (intempéries, poluição, entre outros fatores) (CHEN; JUAN; HSU, 2017; ESTEVES; FLORES-COLEN; SILVA, 2018; MENEZES; GOMES; FLORES-COLEN, 2015; OLSSON, 2017; SANDAK *et al.*, 2019; SILVA, 2015). Entre outras pesquisas, no âmbito de vida útil dos revestimentos aplicados em fachadas de edificações, podem ser citados os trabalhos de: Bordalo (2008), Bordalo *et al.* (2011), Galbusera, Brito e Silva (2015), Garcez *et al.* (2012), Silva, Brito e Gaspar (2011), Silvestre e Brito (2009, 2011) e Souza *et al.* (2018a, 2018c, 2020) para os externos cerâmicos. No que tange aos do tipo pétreos, citam-se os trabalhos de: Emídio *et al.* (2014), Ferreira *et al.* (2021b), Mousavi *et al.* (2017, 2019), Prieto *et al.* (2016a), Silva (2009), Silva, Brito e Gaspar (2011, 2012), Silva, Gaspar e Brito (2013) e Silva *et al.* (2011, 2016a). No que diz respeito ao tipo ETICS, mencionam-se os trabalhos de: Amaro *et al.* (2013, 2014), Mendes Silva e Falorca (2009), Tavares, Silva e Brito (2020) e Ximenes *et al.* (2015). No que diz respeito a fachadas em concreto, referem-se os trabalhos de: Pereira, Hamadyk e Silva (2020), Serralheiro, Brito e Silva (2017) e Silva *et al.* (2017). Ademais, existem os estudos que englobam todos os usais revesti-

mentos de fachada, tais como Silva (2015) e Silva, Brito e Gaspar (2016b). Já no âmbito desta pesquisa, que trata de fachadas revestidas com reboco e com pintura, podem ser citados, dentre outros, os estudos que estimam a vida útil para esses tipos de revestimento, como Chai *et al.* (2014), Ferreira *et al.* (2018), Gaspar e Brito (2008b), Magos *et al.* (2016), Silva, Brito e Gaspar (2016a, 2016c, 2018), Silva *et al.* (2013, 2016b) e Sousa, Meireles e Silva (2020).

1.2 HISTÓRICO E PROBLEMAS DETECTADOS NA PRÁTICA



Alguns países detêm extensivos estudos sobre a definição e sobre a implementação de planos de manutenção, possuindo legislação que obriga os construtores e/ou os usuários a implementá-los (CHAN, 2019; CHIANG *et al.*, 2016; FLORES-COLEN; BRITO, 2010; MADUREIRA *et al.*, 2017; MENDES SILVA; FALORCA, 2009; SILVA; FLORES-COLEN; COELHO, 2015).

Para Mendes Silva e Falorca (2009), a manutenção de edifícios em Portugal ainda possui uma abordagem empírica por três razões principais: orçamento insuficiente para ações de manutenção intensiva e sistemática, conhecimento insuficiente do público e dos gerenciadores relativamente aos benefícios da adoção de estratégias de manutenção e falta de modelos técnicos e de ferramentas de suporte para auxiliar no planejamento dos referidos serviços. Embora existam atualmente ferramentas computacionais disponíveis para o gerenciamento de ativos, estas raramente têm o foco direcionado à renovação dos bens (HALFAWY; NEWTON; VANIER, 2006; GRUSSING, 2014).

A operação das edificações, de uma maneira geral, se desenvolve a uma velocidade inferior ao gerenciamento das infraestruturas. Isso devido ao elevado número de variáveis intervenientes, tais como diferentes: i) especialidades; ii) usos (escritórios, armazéns, residências, indústrias, laboratórios, hospitais, entre outros); iii) tipos e níveis de desempenho exigidos. Por exemplo, as edificações reúnem arquitetos, engenheiros e técnicas de estrutura, coberturas, carpintaria, tubulações, elétrica e mecânica (GRUS-

SING, 2014). Nesse sentido, considerando que cada edificação possui suas especificidades, é possível dizer que cada construção é única, um protótipo com condições sem repetição (GASPAR, 2009; ISO, 2011; SILVA, 2015; SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b).

Os fundos disponíveis para a manutenção são extremamente limitados em comparação com o investimento necessário para restabelecer os níveis de desempenho exigidos. Há a necessidade urgente de se desenvolver estratégias de manutenção com boa relação custo-benefício para os bens deteriorados (PAULO *et al.*, 2016). Love e Li (2000) sugerem que é necessário, a longo prazo, planejar investimentos semelhantes ao desembolso inicial, já que diversos pesquisadores estimam o montante necessário entre 50 e 90% dos custos totais. Blanchard *et al.* (1995 *apud* ZHU; SHAN; HWANG, 2018) sugerem algo semelhante, entre 50 e 80%. Flores-Colen e Brito (2010) corroboram esse entendimento ao sugerirem, para edificações com 50 anos de vida útil, que as despesas relativas à fase de concepção e de execução representam de 20 a 25% dos custos totais, enquanto a manutenção figure entre 75 e 80% dos mesmos. Também, segundo Kirk e Dell'isola (1995) os custos de manutenção e de operação de um edifício representam cerca de 80% do custo total do edifício durante sua vida útil (em média de 60 anos), sendo que somente 11% a 20% dos custos do edifício são gastos no projeto e na sua construção. Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), os gastos totais aportados em imóveis na França, na Alemanha, na Itália e no Reino Unido foram de aproximadamente 621,6 bilhões de euros. Desse montante, os gastos com manutenção e com reparo foram de 326,6 bilhões de euros, ou seja, 52,54%. Também para Ferraz *et al.* (2016) e para Nowogonska (2019), a fase de uso é a mais importante da vida útil, seja sob o ponto de vista econômico, seja sob a perspectiva ambiental. A partir de resultados de estudos sobre custos durante o ciclo de vida da Austrália, da Europa e da América do Norte, Islam, Jollands e Setunge (2015) sugerem que a operação e a manutenção representam mais da metade dos custos durante o ciclo de vida.

Mesmo na posse dos fundos financeiros necessários, o gerenciador (responsável pela execução/contratação de serviços de manutenção), deve ter em mente quando e em que sistemas, elementos ou componentes atuar, bem como as técnicas necessárias para esses serviços (LACASSE;

VANIER, 1996). Ademais, para tomada de adequadas decisões, o gerenciador da edificação deve ter um embasamento no custo da solução e no resultado que poderá obter (GRUSSING, 2014).

No Brasil, com o crescimento do mercado da construção, a importância das normas técnicas à sociedade como um todo, vem sendo amplamente pesquisada e exigida pelos proprietários de imóveis. As normas técnicas não são leis, mas seu uso na construção é obrigatório à luz dos códigos brasileiros Civil, de Defesa do Consumidor, do Processo Civil e Penal (PETERSEN; ALBERTINI; TUTIKIAN, 2020). A norma brasileira que trata exclusivamente do tema de manutenção impõe, inclusive, que edificações existentes antes da sua entrada em vigor devem se adequar à mesma, através da instalação de programas de manutenção (ABNT, 2012). Embora existam tais previsões, recomendações e obrigações, diga-se, compulsórias, na prática, a situação do Brasil não é diferente da internacional. De fato, verifica-se a quase inexistente cultura da manutenção, majoritariamente, devido à falta de ferramentas adequadas que auxiliem o planejamento dessas ações ao longo do ciclo de vida das construções.

1.2.1 SUBJETIVIDADE DO DIAGNÓSTICO

Devido à conjuntura socioeconômica do Brasil, as edificações mais recentes foram realizadas a ritmos superiores aos usuais, implicando um menor rigor e controle dos materiais e dos serviços. Tal situação provocou uma queda gradativa da qualidade das construções brasileiras.

O constante aumento de anomalias nas construções brasileiras, como de origem de projeto, de instalação, de execução, de montagem, no uso ou na manutenção, deu origem à necessidade de diagnósticos construtivos por profissionais habilitados (engenheiros ou arquitetos). Dita prestação de serviço, através de inspeções das construções *in situ*, tem como objeto usual a verificação, através de um procedimento técnico, do estado de conservação e do funcionamento da edificação (ABNT, 2020).

Por outro lado, Ferraz *et al.* (2016) e Ruparathna, Hewage e Sadiq (2017) sugerem que os métodos de inspeção existentes são complexos e trabalhosos e que podem resultar em erros de diagnóstico pelos inspetores. Uma inspeção não deve ser tecnicamente exaustiva, mas a coleta de

informações de forma organizada é fundamental para um processo de tomada de decisão bem informado (Pereira; BRITO, CORREIA, 2015).

As diversas terminologias para condições insatisfatórias na construção, como erro, falha, defeito, entre outras, podem levar a mensurações incompletas ou à estimativa de custos inadequados, pois existem diferenças semânticas nesses conceitos (BORTOLINI; FORCADA, 2018; FORCADA *et al.*, 2012, 2014; FREITAS, 2013; INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB), 1993; ISO, 2014b; MACARULLA *et al.*, 2013). Talvez disso decorra o despreparo técnico dessa diligência, já na terminologia que configura o trabalho a ser realizado. A patologia é usualmente confundida na prática com manifestação patológica ou com anomalia. Na verdade, patologia é uma palavra derivada do grego, em que “*Pathos*” significa sofrimento ou doença e no qual “*Logia*”, ciência ou estudo.

A diligência técnica, denominada patologia, configura o estudo sistemático das anomalias que ocorrem durante o ciclo de vida do edifício, com o objetivo de entender as prováveis causas, os sintomas e as possíveis técnicas de reparação. Genericamente, o termo patologia da construção é usado de uma forma holística para entender a edificação, através do conhecimento de como são projetadas, construídas, utilizadas e alteradas, bem como das variações dos materiais e das condições do ambiente que possam interferir no desempenho da edificação ao longo da sua vida útil (BRITO *et al.*, 2020; WATT, 2007). Numa analogia ao contexto médico, poderia dizer-se que a pessoa é examinada e investigada, detalhadamente, fazendo a sua anamnese, levando-se em consideração a idade, a saúde e o estilo de vida.

Portanto, imperativo considerar que a responsabilização dos intervenientes na construção pode envolver fornecedores de insumo, de material, de componente e/ou de sistema, de projetista, de construtor, de incorporador ou de usuários, seja durante, seja após o término dos prazos legais de garantia (ABNT, 1990, 2013d, 2011; FORCADA *et al.*, 2013; SHOHET; PUTERMAN; GILBOA, 2002). Attia *et al.* (2018), por exemplo, agrupa dezanove diferentes intervenientes, em três principais: equipe de projeto, construtor e cliente. Ademais, Gaspar (2009), Pereira, Brito e Silvestre (2020b), Pires (2011) sugerem que as relações de causa e efeito das ano-

malias, em geral, não são biunívocas, ou seja, não é comum a existência de apenas um defeito associado a uma causa e vice-versa. A ocorrência de anomalias de origens diversas dificulta a precisão do diagnóstico, já que, com o passar dos anos, elas podem ocultar ou mascarar as suas origens, mas não o seu aparecimento. Dada essa dificuldade, a ABNT (2020), por exemplo, considera a impossibilidade de enquadramento da origem de eventual inconformidade. Segundo Watt (2007), os efeitos e as consequências variam de acordo com a construção, com a localização, com o uso e com as condições da edificação afetada.

Face ao exposto, verifica-se que a patologia da construção é fundamental para que os procedimentos e as intervenções prescritos sejam adequadamente verificados e, assim, imputados aos respectivos intervenientes. Ademais, as intervenções devem ser eficientes e configurar soluções duradouras, contribuindo para a vida útil das edificações e para a preservação do patrimônio imobiliário.

1.2.2 ASPECTOS AMBIENTAL, SOCIAL E ECONÔMICO

A construção civil é um setor muito relevante para o crescimento da economia, pois gera empregos e oportunidades. Assim, o mercado imobiliário está sujeito às decisões dos governos e da economia local, regional, nacional e internacional. Fenômenos como a dinâmica da incorporação imobiliária, a oferta de crédito, a inflação, a condução da economia, as políticas fiscais, o crescimento da população e a confiança no governo também acabam interferindo no setor. Efetivamente, os créditos hipotecários para a construção influenciam de forma que o *“boom”* desse setor é alimentado por essa expansão, já que permite aumentar a disponibilidade de dinheiro à população (BORGES, 2008; Netto; Fávero; Suzart, 2015; Teixeira, 2009).

A elaboração e a implantação de um programa de manutenção são importantes para a segurança e para a qualidade de vida dos usuários e são essenciais para a sustentação de níveis de desempenho ao longo da vida útil. Sob o ponto de vista econômico e ambiental, é incorreto considerar as edificações como passíveis de simples substituição por novas construções, quando os requisitos de desempenho atingirem níveis inferiores aos exigidos (ABNT, 2013d). Por outro lado, a ISO (2011) sugere que algumas

residências com completa funcionalidade sejam demolidas em decorrência de quedas no mercado imobiliário.

A manutenção de edificações pode ser dividida em preditiva, em preventiva ou em corretiva/reativa. Segundo Ruparathna, Hewage e Sadiq (2018), a manutenção preventiva permite economizar entre 12 e 18% se comparada à manutenção corretiva/reativa. A mesma proporção pode ser economizada entre a manutenção preditiva e a preventiva. Ademais, ações proativas de operação e de manutenção podem mitigar e corrigir anomalias precoces (em estágios iniciais), melhorando o desempenho e a durabilidade das edificações, o que minimiza os impactos econômicos e ambientais associados a essas ações (CHIANG *et al.*, 2014; JIANG; TOVEY, 2010; MIN; Morgenstern; Marjanovic-Halburd, 2016). Já a ABNT (2012) divide as manutenções em rotineira, em preventiva e em corretiva. Bortolini e Forcada (2018) e Ferreira *et al.* (2021c) também segmentam os tipos de manutenção.

Dessa forma, a predição de vida útil também assume função importante, em termos econômicos e ambientais no setor da construção. O conhecimento da vida útil é premissa fundamental para aplicação de análises econômicas, como a LCC (*life-cycle cost*), que leva em consideração todo o período do ciclo de vida do edifício (BIOLEK; HANÁK, 2019; ISO, 2011, 2017a; LOUNIS; DAIGLE, 2008). Da mesma forma, em termos ambientais, existe a análise LCA (*life-cycle assessment*), que quantifica os impactos das edificações no ambiente durante o seu ciclo de vida (GERVASIO; DIMOVA, 2018; OPTIS; WILD, 2010). Uma revisão da literatura desses dois métodos pode ser encontrada em Chiang *et al.* (2016). Já de perspectivas de futuras pesquisas, em Biolek e Hanák (2019).

A fim de reduzir o desperdício e facilitar a reutilização dos materiais no final de sua vida útil, a demolição também deve ser considerada na fase de projeto. Tal situação pode, inclusive, ser um requisito de códigos de construção locais. Ademais, o reuso ou a reciclagem dos componentes sugere maior valor aos materiais na ocasião do descarte. A correspondência entre a vida útil dos componentes e do edifício permite reduzir as perdas durante a demolição, sendo particularmente importante para edifícios temporários (ISO, 2011). Inclusive, nesse âmbito, Alba-Rodríguez *et al.* (2017), Fregonara *et al.* (2017) e Itard e Klunder (2007) realizam a comparação

entre reabilitar uma edificação ou realizar um novo projeto. Alba-Rodríguez *et al.* (2017) concluem que reabilitar é, aproximadamente, 21% mais econômico, além de reduzir o impacto ambiental em, aproximadamente, 60%. Considerando separadamente os efeitos econômicos e os ambientais, para o caso analisado, Fregonara *et al.* (2017) verificam similaridade quanto aos custos. Apontam, contudo, que o uso de uma das opções seria mais sensível aos agentes de degradação. Já Itard e Klunder (2007) analisam apenas o impacto ambiental e também concluem pela reabilitação da edificação.

Para Chiang *et al.* (2014) as manutenções possuem três objetivos básicos: atender aos níveis mínimos de desempenho exigidos pelos usuários, minimizar o custo do ciclo de vida das edificações e reduzir a emissão de carbono e os impactos ambientais durante o ciclo de vida. Se aplicadas em cada empreendimento, reduções significativas poderiam ocorrer na deterioração ambiental, financeira e social relacionada ao ambiente construído.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA



É relativamente consensual que os pesquisadores acadêmicos e profissionais da indústria enfrentam dificuldades para obtenção de dados relativos à manutenção (KANNIYAPAN *et al.*, 2015b; SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b; SILVA; RANASINGHE; SILVA, 2012; SOUZA, 2019; WU *et al.*, 2010; ZANONI, 2015). Inclusive, umas das principais conclusões do estudo de Au-Yong, Ali e Ahmad (2014b) foi pela necessidade de fornecimento de uma plataforma para compartilhamento do conhecimento e para comunicação entre clientes, equipe de manutenção e usuários acerca da necessidade de melhora da eficiência das ações de manutenção. Em função disso, Au-Yong *et al.* (2017) elencam que as organizações privadas e as públicas enfrentam dificuldades para implementar programas de manutenção que sejam efetivos.

Da mesma forma, é oportuno identificar aspectos da avaliação de interesse geral, ou seja, aqueles que são recorrentemente incluídos nos parâmetros avaliados pelos diferentes sistemas. Se, por um lado, o consumo de energia corresponde a 90% dos aspectos incluídos e os custos de ma-

nutrição a 40%, por outro, a avaliação dos pós-ocupação e dos programas de manutenção correspondem, respectivamente, a 20 e a 10% (VÁSQUEZ-HERNÁNDEZ; RESTREPO ÁLVAREZ, 2017).

Em função da relevância do tema, Rocha e Rodrigues (2017) investigam o estado do conhecimento no tema de manutenção das construções. Dividem o estudo em sete principais tópicos: (i) estudos relacionados à necessidade de aproximação da fase de projeto com a de manutenção; (ii) análises de defeitos e sua eventual associação com a manutenção; (iii) análises das estratégias e desempenho de ações de manutenção; (iv) estudos relacionados aos custos; (v) revisão de terminologias e subtópicos do tema; (vi) desenvolvimento de *softwares*; e (vii) sobre a satisfação dos usuários na fase de ocupação. Além desses, elencam alguns outros tópicos com discussões menos frequentes.

Partindo-se do pressuposto de que a aplicação dos métodos de predição de vida útil e de ciclo de vida ainda não consideram a variável a manutenção de forma direta, é possível admitir que os diagnósticos e prognósticos construtivos, na atualidade, possam carecer de precisão no seu método e, conseqüentemente, na sua conclusão final. Tal situação pode imputar responsabilidades de forma equivocada aos intervenientes no que tange à origem das anomalias constatadas, partindo-se de premissas culturais equivocadas de que as construções são muito caras e, em consequência, deveriam ter maior vida útil sem a necessidade de ações e de despesas de manutenção a curto e a médio prazo. A Figura 1, assim como as demais referências citadas, demonstram ser inevitável que o desempenho das edificações decaia com a passagem tempo, ou seja, independentemente das ações de manutenção, a construção terá uma redução residual do desempenho de seus sistemas, de seus elementos e de seus componentes.

Novamente se pode fazer uma analogia com o conceito de vida dos seres humanos. Tal como nas construções, o ciclo passa pelo nascimento, pelo envelhecimento e, inevitavelmente, pela morte. Por mais intervenções cirúrgicas, medicamentos e cuidados que se tenham, todas as pessoas adoecem e morrem, sem exceção. Nesse sentido, Gaspar (2009) refere que também não se consegue adiar o fim da vida útil eternamente com ações de manutenção. Aliás, discorre que elas vão sendo cada vez mais inefica-

zes à medida que os sistemas, elementos e componentes construtivos vão envelhecendo.

Desse modo, a partir dos problemas apontados, a questão de pesquisa formulada é:

Quais os efeitos da manutenção sobre a degradação física das fachadas revestidas com reboco e com pintura durante o seu ciclo de vida?

O estudo propõe adaptar um método de predição de vida útil já existente, proposto por Gaspar (2009) e por Gaspar e Brito (2008a). Chai *et al.* (2014), Silva (2015) e Silva, Brito e Gaspar (2016b) fizeram desdobramentos sobre o tema, mas não incluíram os efeitos dos serviços de manutenção durante o ciclo de vida dos revestimentos, principalmente, pela dificuldade de obtenção de dados nesse sentido.

A questão de pesquisa foi subdividida em cinco partes:

- a) quais as consequências da realização de diferentes serviços de manutenção na recuperação da degradação física?
- b) as intervenções inspecionadas foram realizadas no momento adequado?
- c) qual a vida útil mínima, média e máxima com e sem ações de manutenção?
- d) qual o ciclo de vida mínimo, médio e máximo com e sem ações de manutenção?
- e) qual é o padrão de degradação ao longo do tempo?

Os problemas apontados podem ser abordados, através da obtenção de uma base de dados, com análise estatística. Nessa linha, Yatim, Tapir e Usman (2005) mencionam que a predição da vida útil de uma construção pode resultar tanto da avaliação de um edifício existente quanto de uma análise estatística das variáveis que influenciam na sua vida útil. Diferentes autores, tais como Chai (2011), Chai *et al.* (2014), Dias *et al.* (2014), Fagundes Neto (2008), Garrido (2010), Garrido, Paulo e Branco (2012),

Gaspar (2009), Gaspar e Brito (2008a), Magos (2015), Pires (2011), Pires, Brito e Amaro (2015a), Prieto Ibáñez (2017), Sá *et al.* (2014), Silva, Brito e Gaspar (2018), Silva, Gaspar e Brito (2014), Silva *et al.* (2016b) e Vieira *et al.* (2015), estabelecem, para obtenção de um diagnóstico e para predição de vida útil, a realização de inspeção com anotação das informações observadas em edificações em serviço como etapa anterior e indispensável para obtenção de conclusões.

1.4 OBJETIVOS



1.4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa consiste em estudar os efeitos das ações de manutenção sobre a degradação física de fachadas revestidas com reboco e com pintura durante o seu ciclo de vida.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos propostos são:

- a) adaptar e estender um método para investigar os efeitos de diferentes ações de manutenção na redução da degradação física das fachadas durante o ciclo de vida;
- b) verificar se o momento em que as intervenções foram realizadas era adequado;
- c) avaliar a vida útil mínima, média e máxima, com e sem ações de manutenção;
- d) avaliar o ciclo de vida mínimo, médio e máximo, com e sem ações de manutenção;
- e) estabelecer padrões de degradação específicos para o ciclo de vida.

1.5 ESCOPO E LIMITAÇÕES DA ANÁLISE

Independentemente do critério adotado para predição de vida útil, haverá um grau de subjetividade associado às decisões tomadas durante o processo, uma vez que são condicionadas por percepções individuais, por contextos e por preferências do tomador das decisões (SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b). O processo de tomada de decisão pode ser complexo, de natureza vaga e controverso, uma vez que incorpora critérios subjetivos. Bana e Costa (1993 *apud* SILVA, 2015) afirmam que é preciso aceitar que a subjetividade sempre está presente nos processos de tomada de decisão.

1.6 CONTRIBUIÇÕES

A partir do pressuposto de que os materiais se degradam de forma diferente ao longo do tempo e de que os diagnósticos e prognósticos que guiam as ações de manutenção possam carecer de fundamentação, estima-se ser possível em distintos momentos do ciclo de vida:

- a) a avaliação da redução da degradação física decorrente da realização de diferentes serviços de manutenção;
- b) a avaliação do momento em que os serviços de manutenção contratados foram realizados;
- c) a estimativa de vida útil de fachadas com e sem ações de manutenção;
- d) a estimativa do ciclo de vida de fachadas com e sem ações de manutenção;
- e) a avaliação de padrões de degradação específicos;
- f) a avaliação dos registros documentais dos serviços de manutenção realizados;
- g) a avaliação da periodicidade recomendada para realização de inspeções.

Por fim, verifica-se que a maioria das pesquisas sobre previsão de vida útil não considera, de maneira direta, a alteração da degradação física decorrente das ações de manutenção. A dificuldade de obtenção de informações de eventuais intervenções realizadas nos elementos ao longo do tempo são uma das principais barreiras (KANNIYAPAN *et al.*, 2015b; SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b; SILVA; RANASINGHE; SILVA, 2012; SOUZA, 2019; WU *et al.*, 2010; ZANONI, 2015), a partir do que se estima haver necessidade de evolução da ciência nesse aspecto. Usualmente, como se verifica em Ruparathna, Hewage e Sadiq (2018), o tema é avaliado de forma indireta, por análises de planejamento e de custo. Amos, Musa e Au-Yong (2019) ressaltam que há necessidade de desenvolvimento e de foco em medidas não financeiras. Nesse sentido, em Kwon *et al.* (2020), por exemplo, consta uma revisão da literatura acerca de problemas causados pela deterioração a serem corrigidos por serviços de manutenção. Entre as dez pesquisas analisadas, quatro modelos não foram validados, e três foram considerados inadequados. Dos três modelos que foram validados, os resultados das pesquisas foram: (i) o tempo de reparo para equipamentos mecânicos, elétricos e hidrossanitários (KWON *et al.*, 2019); (ii) o custo de manutenção em estradas (CHOI *et al.*, 2016); e (iii) custo e tempo de manutenção em pontes (GHODOOSI *et al.*, 2018).

1.7 JUSTIFICATIVA



A queda no ritmo de novas construções nos países mais desenvolvidos e o aumento das ações de reabilitação gerou a motivação por novas pesquisas no âmbito da vida útil e/ou da manutenção das edificações e de seus elementos (AMARO *et al.*, 2014; CHONG *et al.*, 2019; FERRAZ *et al.*, 2016; GARCEZ *et al.*, 2012; NETO; BRITO, 2012; PÄRN; EDWARDS; SING, 2017; PEREIRA *et al.*, 2014; ROCHA; RODRIGUES, 2017; SHOHET; PACIUK, 2006; SILVESTRE; BRITO, 2011). De igual forma, Caputo, Costa e Ferrari (2013), Cheng e Ma (2015) e Vringer, Middelkoop e Hoogervorst (2016) sugerem que, em diversos países desenvolvidos, o número de construções existentes é significativamente maior que o de novas incorporações. Já Silva, Brito e Gaspar (2016b) salientam que o tema de vida útil

das construções tem assumido um importante papel devido à progressiva degradação do patrimônio construído e dos elevados custos de construção, de manutenção e de reparação.

As edificações, na Europa, apresentam altos níveis de degradação. Em 2005, estimava-se que 70% dessas edificações residenciais já teriam passado dos trinta anos de idade, e cerca de 35% teriam ultrapassado os cinquenta anos (BALARAS *et al.*, 2005). Park e Baek (2012) também alertam para o envelhecimento de construções na Coreia. Ademais, a indústria da construção enfrenta dificuldades crescentes com custos para intervenção em função dos orçamentos limitados para manutenção (LAI, 2010) e do aumento do número de anomalias (CHONG; LOW, 2006).

Prever e analisar antecipadamente o comportamento futuro de edificações é mais eficaz e econômico do que reparar em situações de falha iminente do elemento (HENSEN; LAMBERTS, 2011). Para isso, é necessário o conhecimento extensivo de informações de cada elemento, tais como: vida útil, desempenho em serviço, padrões de degradação, operações de manutenção e os custos de operação e de manutenção ao longo do ciclo de vida (BRITO; SILVA, 2020; SILVA; BRITO; GASPAS, 2016b).

Segundo Ferraz *et al.* (2016), nos países desenvolvidos, a ausência de orientação política e de incentivo às atividades de reabilitação e de manutenção, combinados com um cenário econômico que promoveu novas construções, favoreceram o crescimento dos subúrbios durante décadas. Nesse contexto, uma mudança de paradigma no setor de construção está sendo sentida. Para Silva, Brito e Gaspar (2016b), o crescimento dessa linha de pesquisa tem relação com diversos fatores, tais como: o interesse demonstrado pelos proprietários em estabelecer requisitos de vida útil das estruturas durante a elaboração do projeto, a conscientização das partes interessadas no setor da construção de que a qualidade e os custos globais dos edifícios abrangem tanto a fase de construção quanto os custos de manutenção e reparo, o conhecimento de que a vida útil é fundamental para a qualidade e para o desempenho dos elementos da construção e a conscientização por parte dos proprietários relativa aos riscos associados às falhas dos elementos da construção, dado que acarretam implicações no desempenho e visto que podem causar sérios danos aos usuários. Kirkham e Bousabaine (2005), Lindvall (1998) e Madureira *et al.* (2017) acrescen-

tam, ainda, a conscientização de que a aparência visual contribui para o conforto e para a perda de desempenho das edificações.

Segundo Chew, Tan e Kang (2004), em face de um orçamento de manutenção cada vez menor e dos crescentes custos de construção/manutenção, no gerenciamento de edifícios, surgiu a significância das tarefas mais iminentes de minimizar o aumento de custo nas operações durante o uso. A função da manutenção é maximizar a estética e valorizar economicamente os ativos fixos de uma empresa ou organização. No entanto, se, em bons tempos da economia já se verifica uma relutância em investir para preservar as condições das construções, em tempos ruins, os orçamentos de manutenção ficam mais sujeitos à redução.

Uma pesquisa realizada com comitês de normalização, com universidades, com fabricantes, com associações e com consultores revelou que 63% dos especialistas entrevistados entendem que a predição de vida útil é extremamente importante e, apenas, 6% consideraram-na como não relevante. Todavia somente 40% usam esse método, enquanto 13% assumiram não conhecer o tema (BRISCH; ENGLUD, 2005 *apud* SILVA; BRITO; GASPAR, 2016b). Nesse sentido, Watt (2007) aponta que a má orientação de peritos em seus diagnósticos, nas ações de remediação, pode acarretar alterações de origem química, física e/ou biológica, com tratamentos, reparos e restaurações impróprias.

Segundo Aikivuori (1999), somente 17% das ações tomadas nas edificações têm relação com a degradação, e 44% dos casos de manutenção foram baseados em critérios subjetivos para planejamento dos serviços. Silva e Brito (2019) corroboram essas considerações ao apresentarem que os entrevistados pela sua pesquisa revelam uma realidade alarmante, mas não surpreendente, que, em seu escopo de ação, a manutenção geralmente é realizada em situações extremas, quando a segurança dos usuários já está comprometida. Ademais, por exemplo e no âmbito desta pesquisa, no que diz respeito a fachadas rebocadas e pintadas, das 323 ocorrências anômalas verificadas na pesquisa de Pires (2011) e Pires, Brito e Amaro (2015a, 2015b), 45,5% eram sujidades e descolorações, que foram agrupadas como “manchas”. Essa classe, de maior ocorrência, é oriunda do pós-execução e decorre das ações ambientais, do envelhecimento natural e/ou do mau uso em decorrência da falta de manutenção.

Portanto, o estudo da vida útil e da manutenção de revestimentos de fachada é fundamental para dimensionar outras decisões relativas ao ambiente construído (SILVA; BRITO; GASPARGASPAR, 2016b). BRE (1988 *apud* WATT, 2007) apresenta uma distribuição das falhas, suas consequências no desempenho e os defeitos que incorrem nas edificações. Da distribuição das falhas, verifica-se que mais da metade das anomalias ocorrem no envelope construtivo (paredes externas, coberturas, esquadrias e pisos). Por conseguinte, a incidência de anomalias nesses elementos construtivos afeta a durabilidade em 20% e a manutenção em 12%. Ademais, os defeitos de infiltração pluvial, as fissurações e o deslocamento dos revestimentos configuram mais da metade dos defeitos corriqueiros das construções. Essas informações demonstram a distribuição das anomalias e suas consequências, mas não focam especificamente no impacto que essas têm no custo global/total. Isso indica que também serão esses os elementos que deverão ser mais vezes alvo de intervenção ou que serão responsáveis por grande parte do orçamento de manutenção das construções, vide, por exemplo, ABNT (2013d).

Existem, ainda, por exemplo, as distribuições mais recentes de Bortolini e Forcada (2018) e Forcada *et al.* (2014, 2016). Segundo Bortolini e Forcada (2018), os seus entrevistados selecionaram os problemas com a água, com as rachaduras e com os deslocamentos como os defeitos que afetam principalmente o desempenho das fachadas de uma construção, representando respectivamente 64,2%, 54,7% e 41,5% das respostas. Nessa linha, Forcada *et al.* (2014) sugerem que 11% dos defeitos constatados ocorrem nas paredes externas. Ademais, discorrem que os defeitos em áreas externas são os segundos de maior repetição, estando apenas atrás das falhas gerais que configuram 54% da amostra analisada. Já Forcada *et al.* (2013) distribuem os defeitos segundo o tipo, a fonte e a origem deles. Como fontes, estabelecem de: Projeto (1,1%); Falta de proteção (15,5%); má qualidade de mão de obra (64,2%); e Material (19,1%). Como origem, estabelecem: Alteração (0,2%); Dano (18,0%); Erro (39,8%); e Omissão (42,1%).

Sá *et al.* (2015), por exemplo, concluem que 17% das anomalias verificadas nas fachadas rebocadas são decorrentes do uso e/ou da falta de manutenção, bem como que a maior parte (42%) tem relação com ações

do ambiente. Segundo a CIB (1993), em países como Finlândia, Holanda e Estados Unidos, 10% das anomalias das edificações têm origem no uso. Já Lam (2001 *apud* ZHU; SHAN; HWANG, 2018) sugere que a distribuição dos defeitos causados por projeto, por execução e por manutenção, em Hong Kong, seria de 40, 30 e 30%, respectivamente.

Flores (2002) apresenta curvas de degradação para fachadas revestidas com pintura. O referido revestimento tem vida útil, sem manutenção, estimada de 5 anos. Todavia, se forem realizadas ações de limpeza com uma periodicidade igual a 25% da vida útil inicialmente prevista, obtém-se o aumento na vida útil de 1 ano. De igual forma, com simples reparações em uma periodicidade de, aproximadamente, 33% da vida útil inicialmente prevista, pode-se obter uma vida útil de 15 anos no revestimento. Por outro lado, se realizada apenas uma reparação pesada, a aproximadamente 66% da vida útil prevista inicialmente, esta aumenta para 8 anos.

Flores (2002) e Flores-Colen e Brito (2010) relacionam a vida útil das fachadas rebocadas com o tipo de estratégia de manutenção, definindo para os rebocos do tipo monocamada os seguintes períodos de vida útil: 13,5 anos sem manutenção, 16 anos com limpezas periódicas, 22 anos sujeitos apenas a uma reparação pesada e 40 anos com simples reparações periódicas. Também propõem que as fachadas revestidas com pintura sejam alvo de limpezas periódicas a cada 2 anos, repintura a cada 5 anos e alvo de reparações localizadas entre 10 e 15 anos.

Dentre as variáveis consideradas para o estabelecimento da degradação de pinturas de paredes exteriores, Magos (2015) utiliza-se de uma variável dicotômica relativa à manutenção das pinturas, na qual “sim” corresponde à realização desse serviço e “não” à sua inexistência. Foram obtidos dois modelos de regressão de segundo grau, com uma considerável correlação entre a degradação dos revestimentos por pintura e a sua idade ($R^2 > 0,68$). Nesses modelos, fica clara uma diferenciação da severidade da degradação aos 15 anos de vida do revestimento, de aproximadamente 100% (passando de 20% para 40% de degradação). Essa situação tende a aumentar com a passagem do tempo. Ademais, a não realização de manutenções sugere a redução da vida útil do revestimento de três anos, caindo de 13,6 anos para 10,6 anos (MAGOS, 2015).

Desse modo, entende-se que o momento desta pesquisa (de redução de novas construções e foco em manutenções/reabilitações), o sistema estudado (de extensão da vida útil do envelope construtivo), com o acabamento mais usual (em reboco e pintura), focados nos efeitos da manutenção, sugerem a importância da proposição ora realizada, nos âmbitos técnico, econômico e ambiental. Ademais, os resultados obtidos, provavelmente, podem ser extrapolados para os demais tipos de revestimentos de fachada.