

Manutenção pró-activa de revestimentos em pedra natural em edifícios correntes

Katia Pedro Constantino Pedro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores: Doutora Ana Filipa Ferreira da Silva Cigarro Matos

Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Júri

Presidente: Doutor José Alexandre de Brito Aleixo Bogas

Orientador: Doutora Ana Filipa Ferreira da Silva Cigarro Matos

Vogal: Doutora Sónia Raposo

Julho 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Resumo

A manutenção, de uma forma geral, é muitas vezes negligenciada, apesar de ter um papel fundamental, pois são estas ações de manutenção que permitem que os elementos presentes nos edifícios cumpram os requisitos mínimos impostos, ao mesmo tempo, que prolongam a sua vida útil. A ausência destas ações implica a ocorrência de anomalias que podem ser graves e por vezes até irreversíveis, levando a custos muito elevados na intervenção para reverter estas anomalias.

Na presente dissertação, são apresentadas diferentes ações de manutenção que visam corrigir as anomalias mais comuns em revestimentos em pedra natural aderente. São analisados os custos associados às diferentes ações de manutenção escolhidas, assim como as periodicidades, de forma a elaborar um possível plano de manutenção preventiva. A partir deste plano, é realizada uma análise de sensibilidade, considerando dois cenários, o primeiro, relativo ao período de manutenção (ou ciclo de vida dos revestimentos) e, o segundo, relativo às taxas aplicáveis na determinação dos custos de ciclo de vida do plano de manutenção preventiva. É selecionado um dos cenários obtidos sendo este como base para a modelação que é relativa à degradação do revestimento em pedra natural, utilizando uma distribuição de Weibull. Após obter os resultados da modelação para o plano de manutenção preventiva, o mesmo é comparado com um plano de manutenção com base na condição. Esta comparação é realizada considerando quatro parâmetros: i) custos; ii) índice de eficiência ou nível de degradação ao longo do ciclo de vida do revestimento; iii) vida útil; iv) e número de intervenções. Após esta obtenção dos resultados é possível otimizar o plano de manutenção preventiva inicialmente apresentado, estes reajustes terão como apoio os resultados obtidos do plano de manutenção com base na condição, sendo que o mesmo tem como base dados históricos relativos à degradação dos revestimentos em pedra natural.

O planeamento das ações de manutenção é extremamente relevante, nomeadamente, para que se evitem situações extremas associadas a anomalias que coloquem em risco a segurança dos utilizadores ou a custos desnecessários associados a reparações urgentes. A presente dissertação mostra a importância da manutenção pró-activa de revestimentos em pedra natural em edifícios correntes. Os planos propostos dão indicações sobre as melhores estratégias a adotar para otimizar fundos e recursos, enquanto se mantêm os revestimentos em condições adequadas de desempenho. Esta informação é muito útil, reforçando a necessidade de existir uma legislação que fomente a realização periódica de ações de manutenção.

Palavras-chave: Plano de manutenção, manutenção preventiva, manutenção com base na condição, vida útil, custos, periodicidades, intervenção, ação de manutenção.

Abstract

Maintenance, in general, is often neglected, despite having a crucial role, as these maintenance actions will allow that the buildings' components meet the minimum requirements imposed, while, at the same time, these actions allow extending the components' service life. The absence of these actions implies the occurrence of anomalies that can have serious consequences, sometimes even irreversible, leading to very high costs for the necessary interventions to reverse these anomalies.

In this dissertation, different maintenance actions are presented, which intend to correct the most common anomalies in adherent natural stone claddings. The costs associated with the different maintenance actions chosen are discussed, as well as the periodicity of these actions, in order to define a possible preventive maintenance plan. One of the scenarios is selected, which is the basis for the modeling that is related to the degradation of the cladding in natural stone, using a Weibull distribution. Obtaining the modeling results for the preventive maintenance plan, the same is comparing with a maintenance plan based on condition. This comparison is performed considering four parameters: i) costs; ii) efficiency index or level of degradation throughout the life cycle of the coating; iii) useful life; iv) and number of interventions. After obtaining the results, it is possible to optimize the preventive maintenance plan presented, these adjustments obtain in support of obtaining the maintenance plan based on the condition, and the same result is based on historical data relating to the degradation of natural stone cladding.

The planning of maintenance actions is extremely relevant, namely, to avoid extreme situations associated with anomalies that jeopardize the safety of users or unnecessary costs associated with urgent repairs. This dissertation shows the importance of proactive maintenance of natural stone cladding in current buildings. The proposed plans give some indication of the best strategies to be adopted, in order to optimize funds and resources, while keeping the claddings in suitable conditions of use. This information is very useful, reinforcing the need for legislation to encourage periodic maintenance actions.

Keywords: Maintenance plan, preventive maintenance, based-condition maintenance, service life, costs, periodicity, intervention, maintenance action.

Agradecimentos

A concretização da presente dissertação é fruto de todo o apoio e compreensão por parte de algumas pessoas, às quais quero deixar o meu maior agradecimento.

À Doutora Ana Silva, também minha orientadora, que foi incansável, sempre disposta a partilhar material bibliográfico, a ajudar-me nos momentos de maior dúvida, a aconselhar-me nos momentos mais pertinentes, agradeço-lhe por todo o apoio dado ao longo do trabalho.

À minha orientadora, a Professora Inês Flores-Colen, o meu obrigada pelo empenho, pela motivação e pela disponibilidade ao longo do trabalho.

Agradeço ainda o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através do projecto BestMaintenance-LowerRisks (PTDC/ECI-CON/29286/2017)

Agradeço do fundo do coração à minha família que são, sem dúvida alguma, o meu pilar e o meu porto de abrigo. Aos meus pais, à minha irmã e ao meu cunhado, que mesmo vivendo na Suíça, sempre estiveram presentes e orgulhosos do meu percurso, sempre me souberam dar aquela palavra de conforto e de incentivo, e serei eternamente grata por ter esta família única, pois sem eles nada disto seria possível.

Agradeço também ao meu marido Sérgio, que esteve sempre presente e que, ao longo de 12 anos, me viu crescer. Nestes últimos 10 anos, foi o meu grande pilar, apoiou-me em todas as minhas decisões e foi fundamental durante o meu percurso académico, principalmente, nos momentos menos bons, teve sempre a palavra certa para me dar força para continuar a ultrapassar qualquer obstáculo, quer seja durante a realização da dissertação, como também ao longo do meu percurso académico.

Às minhas amigas, que foram as minhas grandes cúmplices nesta aventura académica, Maria Teresa Tavares e Silviane Pereira, agradeço-lhes pela grande amizade que criámos, pelo apoio mútuo, pelos momentos de confidências e risadas. Elas sim, levo-as para a vida.

À minha prima, Catarina que também foi importante durante este período de dissertação, que me apoiou e ajudou a ultrapassar as minhas dificuldades.

Obrigada!

Índice

Resumo.....	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização da dissertação.....	3
2. Manutenção dos elementos da envolvente dos edifícios.....	5
2.1 Considerações iniciais	5
2.2 A manutenção de edifícios e sua definição	5
2.2.1 Definições	5
2.2.2 A importância da manutenção	5
2.3.1 Elementos Fonte de Manutenção	7
2.3.2 Anomalias e ações de manutenção.....	8
2.4 Vida útil e periodicidade das ações de manutenção	11
2.4.1 Vida útil.....	11
2.4.2. Periodicidade das inspeções	12
2.5 Análise económica do ciclo de vida.....	13
2.5.1 Análise do custo de ciclo de vida - Life Cycle Costing (LCC).....	13
2.5.2. Custo global de ciclo de vida - <i>Whole Life Costing</i> (WLC)	14
2.4 Síntese do capítulo.....	15
3. Plano de manutenção preventiva	16
3.1. Considerações iniciais	16
3.2. Descrição da metodologia	16
3.3. Ações de manutenção	17
3.3 Periodicidade das diferentes ações	18
3.3.1. Inspeção.....	18
3.3.2. Limpeza.....	19
3.3.3. Reparação e substituição.....	19
3.3.4. Síntese da periodicidade das ações.....	19
3.4 Custos de intervenção.....	20
3.4.1 Custos de cada ação	20
i) Inspeção	20

ii) Limpezas.....	21
iii) Reparação e substituição pontual.....	21
iv) Substituição integral.....	22
3.4.2 Apresentação dos resultados para os Cenários A e Cenários B.....	23
3.5 Síntese do capítulo	28
4. Manutenção preventiva versus manutenção com base na condição	29
4.1 Considerações iniciais.....	29
4.2 Modelação e apresentação dos resultados obtidos	30
4.2.1 Estratégia de manutenção 1 (EM1)	31
4.2.2 Estratégia de manutenção 2 (EM2)	33
4.2.3 Estratégia de manutenção 3 (EM3)	34
4.2.4 Comparação das três estratégias apresentadas	35
4.3 Otimização do plano de manutenção preventiva com base na modelação de dados históricos	38
4.4 Síntese do capítulo	40
5. Conclusões e desenvolvimentos futuros	42
5.1 Conclusões finais	42
5.2 Desenvolvimentos futuros	43
Referências bibliográficas	46
ANEXO 1-	XX
Plano de manutenção preventiva.....	XX
ANEXO 2-	51
Apresentação da tabela com os custos associados nos primeiros 30 anos (Exemplo dos cenários apresentados)	51

Índice de figuras

Figura 1- Exemplo de um modelo de degradação (adaptado de [2]).....	11
Figura 2- Organograma das estratégias de manutenção em geral (adaptado de [30])	13
Figura 3 - LCC e WLC (adaptado de [35]).....	14
Figura 4- Fluxograma da estratégia adotada	17
Figura 5- Cronograma financeiro do Cenário B.1: a) cronograma a preços correntes;	25
Figura 6- Cronograma financeiro do Cenário B.2: a) cronograma a preços correntes;	26
Figura 7- Cronograma financeiro do Cenário B.3: a) cronograma a preços correntes;	26
Figura 8- Cronograma financeiro do Cenário B.4: a) cronograma a preços correntes;	27
Figura 9 - Sistema de classificação da condição de degradação dos revestimentos em pedra natural (adaptado [20, 21])	29
Figura 10 - Estratégia de manutenção 1: comparação do S_w	32
Figura 11 - Estratégia de manutenção 1: comparação dos custos a preço constante (€/m ²)	33
Figura 12 - Estratégia de manutenção 2: comparação do S_w	33
Figura 13 - Estratégia de manutenção 2: comparação dos custos a preço constante (€/m ²)	34
Figura 14 - Estratégia de manutenção 3: comparação do S_w	35
Figura 15 - Estratégia de manutenção 3: comparação dos custos a preço constante (€/m ²)	35
Figura 16 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação do S_w	39
Figura 17- Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação dos custos a preço constante (€/m ²).....	40

Índice de tabelas

Tabela 1- Divisão dos Elementos fonte de manutenção (adaptado de [19])	7
Tabela 2- EFM da fachada de edifício (adaptado de [9])	8
Tabela 3- Condição de degradação dos revestimentos em pedra natural (adaptado de [20,21])	9
Tabela 4 - Vidas úteis dos EFM (adaptado de [27]).....	12
Tabela 5 - Tipos e periodicidade de inspeções (adaptado de [28]).....	12
Tabela 6 - Periodicidade das inspeções em revestimentos em pedra natural	19
Tabela 7 - Síntese da periodicidade das ações.....	20
Tabela 8 - Custo (€/m ²) da inspeção (adaptado de [41])	20
Tabela 9 - Custo (€/m ²) da limpeza	21
Tabela 10 - Custo (€/m ²) da substituição e reparação pontual	22
Tabela 11 - Custo (€/m ²) da substituição integral	22
Tabela 12 - Valor Anual Equivalente para o Cenário A.....	24
Tabela 13 - Tabela resumo das taxas para o Cenário B.....	24
Tabela 14- Tabela resumo das anuidades	28
Tabela 15 - Intervalo do índice de severidade de degradação para cada condição de degradação (adaptado [20,21])	30
Tabela 16 - Custos utilizados para cada intervenção (€/m ²)	31
Tabela 17 - Índice de eficiência para cada plano e estratégia de manutenção	36
Tabela 18 - Número de intervenções para cada plano e estratégia de manutenção (ST- Substituição Total; IL- intervenção ligeira; OL- Operações de limpeza).....	37
Tabela 19 – Custos a preço constante (€/m ²) para cada plano e estratégia de manutenção	37
Tabela 20 - Tempo de vida útil (anos) para cada plano e estratégia de manutenção	38
Tabela 21 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: vida útil e número de intervenções.....	39
Tabela 22 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação dos custos a preço constante (€/m ²).....	40
Tabela 23 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação do índice de eficiência.....	40

1. Introdução

1.1 Enquadramento e motivação

Em Portugal, existem cada vez mais construções novas, que se inserem num parque habitacional envelhecido. É importante que existam políticas para a manutenção de todo o parque habitacional, considerando as construções mais antigas e as mais recentes, mitigando o processo de envelhecimento e evitando a degradação prematura dos edifícios. Em Inglaterra, por exemplo, todos os edifícios são reabilitados e alvo de um sistema de manutenção, com base na inspeção e análise da patologia dos mesmos [1]. Para além deste país, existem outros que dão grande importância à manutenção, como Itália, França, Estados Unidos, Japão e Canadá, que apresentam uma base de dados que auxilia a gestão das ações de manutenção, na qual se inserem: dados sobre os defeitos mais recorrentes e as suas causas mais prováveis; práticas de inspeção nacionais, que avaliam e monitorizam o estado de conservação dos edifícios; planos a longo prazo das operações de manutenção; os registos de todas as intervenções, com criação de bases de dados relativas aos custos de manutenção [2].

Durante muitos anos, a manutenção dos edifícios foi descurada, conduzindo à ocorrência de anomalias e progressão do fenómeno de degradação. Nas últimas décadas, tem-se assistido a uma mudança de paradigma, dando-se maior relevância à área da manutenção, reconhecendo a sua importância para manter as construções em níveis adequados de desempenho. De facto, as construções são bens de valor elevado, não se devendo evitar ou ignorar qualquer reparação necessária [3]. O edifício está intrinsecamente ligado ao conforto e segurança dos seus ocupantes [4]. Relativamente à segurança dos edifícios, esta deve ser analisada também à luz dos transeuntes. Por norma, quando a segurança é posta em causa, considera-se que o edifício atingiu o limite máximo de degradação aceitável, ou seja, atingiu o fim da sua vida útil, sendo necessário realizar uma intervenção ou ação de manutenção [2].

A manutenção de edifícios revela-se importante por múltiplos fatores, desde o seu aspeto estético, como pela segurança, como mencionado acima. Assim sendo, deve existir um plano de manutenção para avaliar quando é necessário realizar qualquer tipo de manutenção [4], bem como haver técnicos apropriados para as diferentes ações de manutenção que possam existir, conduzindo assim a que o desempenho geral do edifício continue a ter um comportamento adequado sem pôr em risco os seus utilizadores, não acarretando custos adicionais mais elevados. Em suma, a manutenção mantém o edifício em condições adequadas de segurança para o seu uso, cumprindo assim todos os requisitos mínimos necessários a um funcionamento adequado do edifício [5].

A manutenção dos edifícios e dos seus componentes repõe as suas características fundamentais a um nível adequado de desempenho. Regra geral, o elemento não volta a um estado de condição como sendo um elemento novo, visto que este foi sujeito a um processo natural de envelhecimento, dando lugar a algumas anomalias que não são por vezes corrigidas em determinadas ações de manutenção [6].

Na manutenção existem duas questões fundamentais: “como intervir” e “quando intervir”. Ou seja, quando se adotam estratégias de manutenção preventiva importa definir as ações a realizar, bem como as suas periodicidades. Esta estratégia visa conduzir a uma redução dos custos, pois as diferentes reparações aumentam o ciclo de vida dos elementos em estudo, sem chegar a uma degradação extrema em que seja necessário haver um custo elevado na sua substituição antes do tempo [7]. Revela-se assim importante a execução da manutenção no momento certo com periodicidades adequadas, tendo em consideração a perda de desempenho do elemento ao longo do tempo, uma vez que atrasos nas ações definidas previamente, conduzem a um aumento dos custos [8]. Por sua vez, esta situação conduz a que possa existir urgência na realização das ações. A manutenção preventiva permite assim otimizar as ações a realizar, evitando custos elevados associados a intervenções urgentes.

As ações de manutenção para serem eficientes precisam de ser planeadas, isto é, devem ser elaborados planos de manutenção. Nestes planos, é fundamental definir quais as ações que serão realizadas, bem como quando se irão realizar [9], consoante o elemento que se está a tratar, pois os diferentes elementos presentes nos edifícios têm características e desempenhos diferentes. O facto de existirem planos de manutenção para os diferentes elementos durante a sua vida útil, ajuda a controlar e mitigar a ocorrência de anomalias [9]. Por isso, a elaboração de planos de manutenção está estreitamente ligada aos custos, pois estes planos, programados de forma ajustada, irão ajudar a otimizar custos e recursos [9].

Na presente dissertação, será elaborado e otimizado um plano de manutenção que irá incidir sobre os revestimentos em pedra natural nas fachadas dos edifícios. Existem algumas características da pedra natural e da envolvente exterior que conduzem à sua degradação [10] e, por isso, é importante ter esses fatores em consideração, pois caso a manutenção não seja realizada atempadamente, o revestimento acaba por apresentar uma degradação mais pronunciada, que conduz a um aumento de custos. É por isso importante existir um plano de manutenção para os revestimentos em pedra natural, pois as ações praticadas sobre a mesma é que vão determinar um aumento ou uma diminuição da sua durabilidade [10].

1.2 Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é, essencialmente, a elaboração de um plano de manutenção para os revestimentos de fachadas, em pedra natural fixada diretamente ao suporte. Para tal, é importante determinar quais são as anomalias mais comuns neste tipo de revestimentos de fachadas exteriores, sendo para isso realizada uma pesquisa bibliográfica.

A partir desta pesquisa bibliográfica e de um conjunto de referências, determinam-se então quais as ações de manutenção mais adequadas de modo a prolongar o tempo de vida útil dos revestimentos em pedra natural, garantindo que sejam cumpridos sempre níveis de desempenho adequados. Estas ações serão realizadas num determinado tempo, isto é, cada ação terá a sua periodicidade, que é estabelecida também com base nas referências consultadas. Estes dois passos são essenciais para a definição apropriada de um plano de manutenção para o elemento em questão.

Este plano de manutenção preventiva, para além de ser fundamental para manter um nível de desempenho adequado e, da mesma forma, aumentar a vida útil dos revestimentos em pedra natural, também acaba por ser um suporte técnico que ajudará à gestão dos edifícios, de um ponto de vista económico e ambiental [11].

Ao realizar estes planos de manutenção facilmente se remete aos custos das ações de manutenção propostas, pois esta gestão ajuda a prever os custos ao longo do ciclo de vida dos revestimentos, evitando os custos elevados associados a reparações urgentes, associados à falta de ações regulares de manutenção. Por isso, a partir dos planos de manutenção elaborados na presente dissertação, também se irá determinar os custos de cada uma das ações de forma detalhada e individual, bem como os custos ao longo dos anos, considerando as diferentes ações de manutenção no seu espaço de tempo definido. Qualquer tipo de manutenção exercida na fachada conduz necessariamente a um custo. Se as ações de manutenção não são realizadas quando são programadas pode ocorrer um aumento de custo drástico [12] e, é por este motivo que, nesta dissertação, se irá demonstrar como se revela importante planear ações de manutenção e custos, assim os proprietários dos edifícios terão acesso a um suporte técnico onde poderão saber quando devem realizar as intervenções e quanto vão gastar com as mesmas (ao longo do ciclo de vida do edifício), evitando custos inesperados. No final, será então feita uma comparação entre o plano de manutenção preventiva proposto com base na literatura e um plano de manutenção com base na condição (baseado num projeto de investigação a decorrer). Nesta dissertação, serão então avaliadas as vantagens e desvantagens de planos de manutenção preventiva (os mais comuns na prática real da manutenção) e modelos baseados na condição (cuja aplicação é mais complexa). Por fim, pretende-se apresentar um plano de manutenção preventiva otimizado de acordo com dados históricos sobre a degradação das fachadas revestidas a pedra natural, apresentando os custos associados a este plano, avaliando o acréscimo de durabilidade promovido pelas ações realizadas, de forma a sensibilizar os proprietários para a importância das ações de manutenção.

Em suma, a presente dissertação de mestrado tem como objetivos principais: i) a proposta de um plano de manutenção preventiva para os revestimentos em pedra natural, para os quais serão definidas as ações e as suas periodicidades ao longo de um período de análise, com base na literatura existente sobre o tema; ii) a realização de uma análise de sensibilidade, determinando os custos de ciclo de vida dos revestimentos, considerando diferentes taxas; iii) a comparação entre os planos de manutenção preventiva e baseada na condição; iv) e, finalmente, a definição de um plano de manutenção preventiva otimizado com base na informação obtida nas análises anteriores, que permita a sua implementação prática no sector da manutenção dos revestimentos em pedra natural.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação está subdividida em cinco capítulos, seguidos da bibliografia e, finalmente, dos anexos, como se descreve de seguida:

Capítulo 1: Neste capítulo, encontra-se a apresentação geral do tema, demonstrando a importância da manutenção, a nível internacional, revelando que, em Portugal, foi durante muito tempo negligenciada, mas que cada vez mais, se reconhece a sua importância para a durabilidade das construções. São referidas quais as estratégias a utilizar para garantir a eficiência da manutenção. De seguida, apresentam-se os objetivos principais da presente dissertação, bem como a sua organização.

Capítulo 2: Este capítulo apresenta o conhecimento atual sobre a manutenção, descrevendo e explicando os principais conceitos relacionados com a manutenção e a sua importância, como as anomalias associadas, as ações possíveis de executar e as periodicidades e a vida útil os elementos que compõem os edifícios. Também é abordado o custo de ciclo de vida associada aos elementos e o peso que tem nas tomadas de decisão.

Capítulo 3: Neste capítulo, são determinadas as ações de manutenções e a partir de referências bibliográficas são escolhidas as periodicidades para cada uma das ações, de forma a elaborar um plano de manutenção preventiva. São ainda determinados os custos associados às ações de manutenção consideradas. A partir destes dados, é feita uma análise de sensibilidade, apresentando o cenário A (com base no período de estudo) e o cenário B (com base nas taxas de atualização) com a explicação e escolha dos resultados para o próximo capítulo.

Capítulo 4: Neste capítulo, o plano de manutenção preventiva estabelecido no Capítulo 3 é comparado com um plano de manutenção baseado na condição. O plano baseado na condição foi definido no projeto “Manutenção da envolvente dos edifícios, baseada em modelos de previsão da vida útil: redução dos riscos e custos para os proprietários”. São analisadas três estratégias de manutenção e os resultados obtidos são comparados ao nível do seu impacto na vida útil estimada, nos custos, no índice de eficiência, na severidade da degradação dos revestimentos e no número de intervenções. A partir destas comparações é selecionada uma estratégia de manutenção, procedendo-se à otimização do plano de manutenção preventiva inicialmente proposto.

Capítulo 5: O último capítulo apresenta as conclusões finais obtidas nesta dissertação e refere possíveis desenvolvimentos futuros e assim se termina com as referências bibliográficas.

Os seguintes anexos são elementos integrantes e de apoio a esta dissertação:

Anexo 1: Este anexo representa o plano de manutenção obtido com as periodicidades para cada ação ao longo da vida útil dos revestimentos em pedra natural.

Anexo 2: É um exemplo de um plano de manutenção preventiva com os custos associados, neste caso, ao longo da vida útil dos revestimentos em pedra natural e sem qualquer taxas envolvidas (Cenário A.1).

2. Manutenção dos elementos da envolvente dos edifícios

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo incide sobre a definição do conceito de manutenção, e mais propriamente, na sua aplicação a fachadas de edifícios, desde a definição de planos de manutenção até à análise dos custos que estes podem ter ao longo da vida útil das construções. Em primeiro lugar, é importante definir o conceito de manutenção das construções, e o que a torna essencial ao longo da vida útil dos edifícios e dos seus componentes. De seguida, são analisados diferentes planos de manutenção, consoante a degradação dos elementos presentes numa fachada. A partir destas definições e pressupostos iniciais, serão avaliados os custos relacionados com a manutenção, através de análises económicas do ciclo de vida (LCC - *life cycle costing*), que permitirão definir cronogramas financeiros associados às estratégias de manutenção adotadas.

2.2 A manutenção de edifícios e sua definição

2.2.1 Definições

O “edifício” é definido segundo a norma ISO 6707-1: 2004 como “uma construção, normalmente total ou parcialmente fechada e concebida para permanecer num único local, cujo objetivo principal é proporcionar abrigo aos seus ocupantes ou conteúdo. Inclui o invólucro, elementos estruturais e não estruturais, acabamentos, aplicações, equipamentos, instalações e construções exteriores” [4]. No entanto, esta definição é mais complexa, pois o edifício tem de dar resposta a um conjunto de exigências, como a segurança, a qualidade e conforto do ambiente interior, a sustentabilidade, entre outras. Além disso, as exigências dos utilizadores são variáveis ao longo do tempo e de acordo com o contexto do edifício, alterando assim a capacidade de o edifício corresponder às expectativas dos utilizadores ao longo da sua vida útil [13].

O conceito de manutenção encontra-se inicialmente relacionado com a atividade industrial, mais propriamente, no âmbito da engenharia mecânica, no que diz respeito à manutenção de maquinaria. Anos mais tarde, tornou-se evidente a relevância da manutenção também no âmbito da engenharia civil. Apesar de, durante muito tempo, na engenharia civil, a manutenção ser vista como um “mal necessário” [14], sendo apenas realizada para correção de anomalias, em elementos construtivos num estado de degradação inaceitável. Atualmente, é reconhecida a relevância da manutenção em termos económicos e no que diz respeito à durabilidade e sustentabilidade das construções.

2.2.2 A importância da manutenção

A manutenção corresponde a um conjunto de ações, com vista a manter o estado inicial dos elementos construtivos por um período de tempo razoável, assegurando assim que estes apresentam características aceitáveis ao longo da sua vida útil [15]. A definição de Cabral (1998) traduz a manutenção como a “combinação das ações de gestão, técnica e económicas, aplicadas aos bens para otimização dos seus ciclos de vida, entendendo-se por bem o produto concebido para assegurar uma

determinada função” [16]. A norma ISO 15686-1:2011 - *Service Life Planning* - refere a manutenção como “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas associadas durante a vida útil para manter um edifício, ou suas partes, num estado que possa desempenhar as suas funções necessárias” [17]. A Norma Portuguesa NP EN 13306 (2007) menciona que a manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a mantê-lo ou a repô-lo num estado em que possa desempenhar a função requerida” [4]. A definição proposta pelo *Committee on Building Maintenance* (1972), com base na BS 3811 (1984), refere que a manutenção é “uma combinação de ações técnicas e administrativas desenvolvidas, incluindo o seu controlo necessário à reposição de determinado elemento num estado no qual este possa desempenhar, de forma adequada, a função pretendida” [18].

A manutenção nos edifícios relaciona-se com as intervenções necessárias, que devem ser realizadas durante a sua vida útil, de forma que os elementos não se deterioram de forma acentuada e assim continuam a corresponder às exigências de desempenho [8], com toda a segurança e qualidade como inicialmente.

A prática da manutenção foi, durante muitos anos ignorada, restringida a práticas de manutenção preventiva para correção pontual de anomalias. No entanto, a prática de construir e deixar degradar-se tem-se vindo a alterar, essencialmente, devido à existência de um parque construído envelhecido e com elevados níveis de degradação [8]. Em Portugal, existia uma maior incidência de degradação nos edifícios arrendados, alguns com a possibilidade da ocorrência de derrocadas. Esta situação devia-se ao facto de as rendas terem estado congeladas durante vários anos, originando a falta de investimento em ações de manutenção por parte dos proprietários, ou seja, mesmo que os proprietários reconheçam que as ações de manutenção têm de ser realizadas, a falta de fundos compromete a realização das ações necessárias. Por isso, foi necessário fomentar a manutenção do parque construído, surgindo em 2001, o “Pacto para a Modernização do Parque Habitacional”. Este programa veio ajudar a travar a degradação do parque habitacional, de forma que o Governo, Câmaras Municipais e proprietários, em conjunto, ajudassem a melhorar o estado de conservação dos edifícios existentes [2]. Para que estas alterações sejam possíveis e com regras bem definidas, Portugal tem como apoio legislativo o RGEU- Regulamento Geral das Edificações Urbanas, mas também o RJEU - Regime Jurídico da Urbanização e Edificação.

É útil perceber que a manutenção pode depender de dois fatores: o estado de degradação do edifício e o contexto social e económico onde este se insere. A condição de degradação do edifício revela se existe ou não a necessidade de intervenções de manutenção. Por sua vez, o contexto social e económico está relacionado com as exigências e expectativas dos utilizadores e proprietários, assim como os fundos disponíveis para as ações de manutenção. O edifício pode necessitar de manutenção, devido ao seu nível de degradação, mas os utilizadores podem simplesmente aceitar o estado do edifício ou não terem meios económicos para realizarem as ações de manutenção necessárias.

De uma forma geral, os edifícios existentes, e que necessitam de manutenção, não têm qualquer base de dados em que sejam mencionadas as intervenções já realizadas. Contudo, os edifícios mais recentes, já têm incluídos nas estratégias de manutenção propostas, os intervalos de tempo entre as diferentes ações de manutenção que devem ser realizadas ao longo da vida útil do edifício, bem como

os custos associados [8] em que estão inseridos na gestão de manutenção, sendo estabelecidos regras/planos para os diferentes tipos de edifícios, sejam habitacionais ou industriais.

2.3 Planos de manutenção

Um plano de manutenção está integrado na gestão da manutenção de um edifício. Este plano apresenta um grupo de tarefas, onde são descritas as ações a realizar, quando devem ser realizadas e como se deve proceder para a sua elaboração [4]. Estes planos são cada vez mais importantes, e devem ser postos em prática de modo que a manutenção prevaleça, em detrimento da substituição total dos elementos dos edifícios, mais especificamente designados por elementos fonte de manutenção (EFM) [19].

2.3.1 Elementos Fonte de Manutenção

Antes da definição de qualquer tipo de plano de manutenção, é importante fazer uma análise destes EFM e do desempenho/comportamento de cada um, verificando o seu nível de degradação, o tipo de anomalias associadas aos mesmos, e só assim será possível delinear um plano tecnicamente informado.

Os EFM necessitam de manutenção durante a vida útil dos edifícios e, por isso, são subdivisões do edifício, em que cada um representa um componente do edifício, e apresentam condições de degradação própria, quer ao longo tempo quer na amplitude e extensão da degradação observada. Para uma melhor compreensão dos mesmos, apresenta-se nas Tabelas 1 e 2, de forma explícita, os diferentes EFM, em vários níveis, com um nível crescente de detalhe, sendo esta uma proposta de como apresentar de forma geral os EFM.

Tabela 1- Divisão dos Elementos fonte de manutenção (adaptado de [19])

Elementos fontes de manutenção (geral)		
Nível 1	Nível 2	Nível 3
Elementos edificados	Estrutura	fundações
		elementos verticais
		elementos horizontais
	panos de parede	exterior
		interior
	cobertura	acessível
não acessível		
Envolvente Exterior	revestimentos horizontais	tetos
		pavimentos
	revestimentos verticais	exterior
		interior
	vãos exteriores	portas
		janelas
	vãos interiores	portas
		janelas
Instalações	abastecimento de água	rede
		louças e comandos
		outros
	esgoto	rede
		outros
	eletricidade	rede
		outros
	outros	rede
		outros
	Outros	outros
equipamento		
juntas		
outros		

A partir desta mesma tabela, é possível detalhar a informação para a envolvente exterior vertical, e especificamente para as fachadas, que é o âmbito do presente trabalho de investigação.

Tabela 2- EFM da fachada de edifício (adaptado de [9])

EFM de fachada de edifício			
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Envolvente exterior vertical	Revestimentos	Contínuos	Reboco; tinta de base aquosa
		Descontínuos	Cerâmicos; placas de pedra
	Vãos	Portas/Janelas	Madeira; alumínio; PVC; vidro
	Outros	Vedantes; ferragens metálicas de elementos de vão; elementos de fixação	

Como mencionado anteriormente, o plano de manutenção determina um conjunto de tarefas e planeia de uma forma rigorosa as diferentes ações de manutenção que devem de ser executadas, as quais devem incluir os seguintes pontos [6]:

- determinar a vida útil de cada elemento construtivo;
- estabelecer níveis mínimos de desempenho;
- definir as anomalias relevantes, causas possíveis e mecanismos de degradação;
- prever os sintomas de pré-patologia;
- determinar o sistema de seleção da operação de manutenção;
- estabelecer rotinas de inspeção;
- criar estratégias de atuação;
- registar todas as intervenções;
- registar os custos das operações;
- propor recomendações técnicas de produtos e soluções.

2.3.2 Anomalias e ações de manutenção

Antes de determinar quais as ações de manutenção a realizar é importante identificar as anomalias que podem ocorrer nos revestimentos em pedra natural. Estas anomalias podem ter diferentes origens e vários níveis de gravidade. Silva et al. [20, 21] estabeleceram diferentes condições de degradação para os revestimentos em pedra natural (RPN), considerando as anomalias que podem ocorrer, a sua extensão e gravidade (Tabela 3). Em termos de anomalias visuais ou estéticas, estas podem corresponder à simples deposição de sujidade superficial até à presença de elementos biológicos [22], tais como fungos e musgos. Existem também anomalias que comprometem a integridade da própria pedra natural, como por exemplo fissuras de pequena dimensão ou até a deterioração volumétrica, como descasque ou lascagem [22]. As anomalias também se podem estender sobre as juntas, que podem apresentar desgaste ou falta do material de colmatação [23]. Estas anomalias requerem intervenções adequadas, por forma a corrigir a anomalia e a sua origem.

Para melhorar o desempenho dos elementos da construção, e prolongar a sua vida útil, as ações de manutenção devem ser realizadas no momento certo, evitando assim o custo elevado associado a

reparações urgentes, ou evitando a progressão do processo de degradação dos elementos até que estes atinjam níveis inaceitáveis de degradação. Devem, por isso, ser definidas prioridades de intervenção para os EFM, atuando em primeiro lugar, nos elementos com ritmos de deterioração mais elevados. Estas periodicidades (que também dependem do elemento construtivo em questão) são legalmente impostas pelo RGEU ou D.L nº177/2001, mas nem sempre são respeitadas.

Tabela 3- Condição de degradação dos revestimentos em pedra natural (adaptado de [20,21])

Condição de degradação	Caracterização das anomalias		% área de RPN afetada
Condição A	<i>Não apresenta degradação visível</i>		-
Condição B <i>Bom</i>	Anomalias visuais ou de degradação da superfície	Sujidade superficial	> 10%
		Manchas de humidade	≤ 15%
		Manchas localizadas	
		Alteração cromática	
		Deficiências de planeza	
	Anomalias de perda de integridade	Degradação do material ^(*) ≤ 1% da espessura da placa	-
Degradação do material ^(*) ≤ 10% da espessura da placa		≤ 20%	
Fissuras de largura ≤ 1 mm			
Condição C <i>Degradação ligeira</i>	Anomalias visuais ou de degradação da superfície	Manchas de humidade	> 15%
		Manchas localizadas	
		Alteração cromática	
		Colonização biológica	≤ 30%
		Vegetação parasitária	
		Eflorescências	
	Anomalias em juntas	Deficiências de planeza	> 10% e ≤ 50%
		Degradação do material das juntas	≤ 30%
	Anomalias na fixação ao suporte	Perda de material - junta aberta	≤ 10%
		Lascagem do elemento pétreo na zona dos bordos	≤ 20%
	Anomalias de perda de integridade	Lacuna parcial do elemento pétreo	
		Degradação do material ^(*) ≤ 10% da espessura da placa	≤ 20%
Degradação do material ^(*) >10% e ≤ 30% da espessura da placa		> 20 %	
Fissuras de largura ≤ 1 mm		≤ 20%	
Fissuras de largura > 1 mm e ≤ 5 mm		> 20%	
Fracturação		≤ 5%	
Condição D <i>Degradação moderada</i>	Anomalias visuais ou de degradação da superfície	Colonização biológica	> 30%
		Vegetação parasitária	
		Eflorescências	
		Deficiências de planeza	> 50%
	Anomalias em juntas	Degradação do material das juntas	> 30%
		Perda de material - junta aberta	> 10%
	Anomalias na fixação ao suporte	Lascagem do elemento pétreo na zona dos bordos	> 20%
		Lacuna parcial do elemento pétreo	≤ 10%
		Descolagem	
	Anomalias de perda de integridade	Degradação do material ^(*) >10% e ≤ 30% da espessura da placa	> 20%
		Degradação do material ^(*) >30% da espessura da placa	≤ 20 %
		Fissuras de largura > 1 mm e ≤ 5 mm	> 20%
Fissuras de largura ≥ 5 mm		≤ 20 %	
Fracturação		>5% e ≤ 10 %	
Condição E <i>Degradação generalizada</i>		Anomalias na fixação ao suporte	Descolagem
	Anomalias de perda de integridade	Degradação do material ^(*) > 30% da espessura da placa	> 20%
		Fissuras de largura > 5 mm	
		Fracturação	> 10%

^(*) - Por degradação do material entendem-se todas as anomalias que envolvem a diminuição volumétrica do material pétreo

As principais ações a serem executadas são as seguintes [6]:

- Inspeção: a maioria das inspeções é executada visualmente e, por vezes, com o auxílio de métodos de diagnóstico ou ferramentas de teste não destrutivas *in situ* [24]. Esta técnica é uma parte importante da manutenção, visto que permite verificar quando é necessário realizar uma determinada ação e leva a diminuição das anomalias [9]. As inspeções deveriam ter uma periodicidade predefinida, para aferir e avaliar onde possam existir anomalias nos EFM, avaliando o desempenho destes elementos ao longo do tempo. Havendo então uma inspeção adequada no tempo certo permite controlar tanto os materiais bem como os custos que podem resultar do incumprimento dos mesmos. A norma BS 8210 [25] refere que o utilizador deve observar de forma regular o edifício durante o seu uso, para identificar, caso exista, alguma anomalia presente. Anualmente, deve ser feita uma inspeção visual aos elementos principais presentes no edifício por um técnico qualificado. Finalmente, a cada 5 anos, é importante fazer uma inspeção geral a toda a envolvente do edifício. Em contrapartida, o *Bureau Veritas* propõe periodicidades de inspeções mais alargadas, em que sugere inspeções localizadas a cada 3 a 5 anos e inspeções globais entre os 10 e os 15 anos [26];
- Limpeza: esta ação, por norma, é a mais simples, e serve para remover qualquer tipo de sujidade ou agentes biológicos que possam existir nas fachadas. A limpeza apesar de não acarretar, normalmente, custos elevados, é, contudo, muitas vezes desprezada. Porém, esta ação não resolve outros problemas que possam existir, por isso, é importante eliminar as causas para resolver verdadeiramente as anomalias [24]. Segundo a norma BS 6270-3, uma limpeza inadequada pode ter uma influência negativa sobre a vida útil do elemento, devendo, por isso, ser realizada de forma adequada;
- Reparação e substituição: estas ações servem para corrigir determinadas anomalias, impedindo que estas se propaguem a outros EFM que estejam presentes nas fachadas [6]. Para que estas ações sejam eficazes é, em primeiro lugar, necessário eliminar as causas dessas anomalias, como foi referido anteriormente. As reparações e as substituições são, por norma, parciais ou totais, sendo que esta última ação incide mais sobre a substituição do elemento quando este já está em fim de vida [24]. Neste sentido, devem-se adoptar-se soluções que tenham as mesmas características que as iniciais, para não comprometer o desempenho do elemento em questão.

Estas diferentes ações são de grande importância no que toca ao desempenho e condição do EFM, isto é, sem qualquer tipo de intervenção ao longo do tempo, o material vai-se deteriorando, tornando-se obsoleto e incapaz de dar resposta aos requisitos mínimos de desempenho. Contudo, com as intervenções adequadas, o fim da vida útil dos EFM é adiado, aumentando assim a sua durabilidade e desempenho. De uma forma mais intuitiva, na Figura 1 é ilustrado o comportamento de um EFM quando é sujeito a ações de reparação [2], verificando-se um aumento do desempenho do EFM, num determinado período quando é intervencionado.

Os planos de manutenção permitem evitar custos excessivos, otimizando os fundos existentes. É, por isso, que os planos de manutenção devem conter os registos de cada manutenção realizada. Segundo

o documento “*Maintenance planning of facades in current buildings*” [9], os passos principais para a definição adequada de planos de manutenção são os seguintes:

- 1) Inspeções detalhadas:
 - a) identificar todos os EFM;
 - b) determinar as anomalias e as causas prováveis;
 - c) definir a melhor estratégia para a intervenção dos EFM.
- 2) a) Ações de manutenção após inspeção, de acordo com o diagnóstico feito na mesma, com o intuito de repor os seus níveis de desempenho adequados dos EFM;
- 3) Elaborar um plano de manutenção pró-ativa:
 - a) definir a vida útil do EFM;
 - b) indicar a periodicidade das ações a realizar, no âmbito da manutenção pró-ativa.

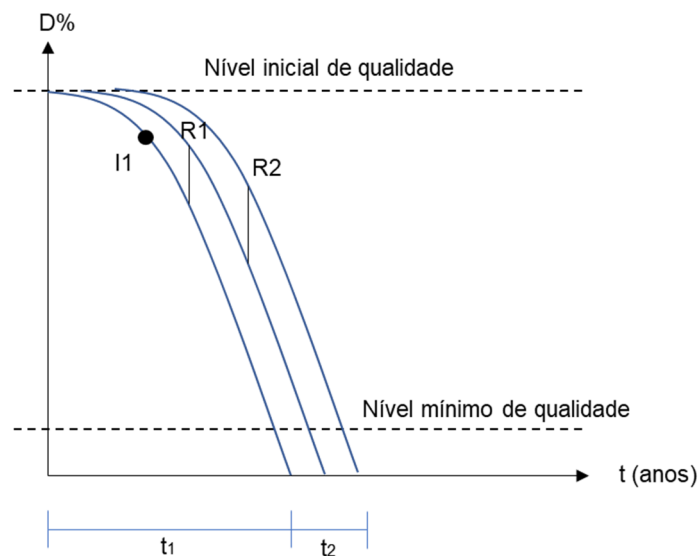


Figura 1- Exemplo de um modelo de degradação (adaptado de [2])

2.4 Vida útil e periodicidade das ações de manutenção

2.4.1 Vida útil

Todos os edifícios têm um ciclo de vida, ou seja, um período de tempo desde que termina a construção ou são colocados em utilização, até atingirem o fim da sua vida útil. Usualmente, os edifícios e os seus elementos têm uma vida útil de referência, isto é, uma estimativa do período de tempo em que cumprem os requisitos mínimos de desempenho. A norma internacional para a durabilidade - ISO 15686-1 (2011) - define o conceito de vida útil como o período de tempo em que o edifício ou os seus componentes cumprem ou excedem os requisitos mínimos de desempenho.

Cada elemento de um edifício tem um desempenho característico ao longo do tempo, que condiciona a sua vida útil [9]. Por vezes, os edifícios vão mudando a sua utilização ao longo dos anos, seja através da mudança de inquilinos, ou até mesmo devido à alteração da sua utilidade. Cada tipo de utilização tem estipulado um número de anos para a sua vida útil, para os edifícios na sua generalidade,

habitacionais ou não, pode variar entre 76 e 100 anos [27]. Na Tabela 4, são apresentados alguns valores médios de vida útil estimada para os EFM (em anos).

Tabela 4 - Vidas úteis dos EFM (adaptado de [27])

Elementos fonte de manutenção	Material	Vida útil (anos)	
		Mínimo	Máximo
Fachadas	Reboco	20	81
	Tinta	4	10
	Cerâmica	15	57
	Pedra natural	20	70
Janelas, portas e elementos de proteção	Madeira	10	69
	Alumínio	10	58
	PVC	10	49
Cornijas, beirais e molduras de portas e janelas	Pedra natural	20	60
	Cimento / betão	20	60
Vedantes de juntas		3	20

Uma vez que a presente dissertação visa os revestimentos em pedra natural, com base na literatura consultada (Tabela 4), considera-se que os revestimentos possuem uma vida útil de 70 anos [9].

2.4.2. Periodicidade das inspeções

Para garantir a durabilidade das construções, é importante proceder a inspeções regulares, com vista a avaliar a condição das construções, definindo de forma tecnicamente informada as intervenções necessárias de que deverão ser alvo os elementos construtivos. O utilizador ou decisor deve fazer uma inspeção visual anualmente [28] de forma a verificar se, à primeira vista, está tudo em conformidade. Contudo, devem ainda ser realizadas outras inspeções, mais específicas, durante a vida útil dos edifícios, que estão detalhadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Tipos e periodicidade de inspeções (adaptado de [28])

Tipos de inspeções	Periodicidade
Inspeções localizadas	3 a 5 anos
Inspeções globais	10 a 15 anos
Observação regular e contínua pelo utente	Regularmente
Inspeção visual aos elementos principais, com supervisão de técnico qualificado	Anual
Inspeção a todo o edifício, com supervisão de técnico qualificado	Quinquenal
Edifícios novos ou requalificados	Anualmente, nos primeiros 5 anos
Inspeção regular, verificação das singularidades ou falhas de construção	Anual/ Bienal
Inspeção de revestimento de pedra	Quinquenal

A periodicidade das ações de manutenção depende das estratégias utilizadas. Podem ser adotadas periodicidades fixas, com base num plano inicialmente projetado, como podem ser realizadas inspeções para verificar a necessidade de realizar ações de manutenção sobre os elementos inspecionados [29].

2.4 Formas de manutenção

De uma forma geral, como está representado na figura 2, a manutenção está essencialmente dividida em dois grandes grupos: i) a reativa, que também se pode designar como resolutiva, curativa ou até corretiva; e ii) a manutenção pró-ativa [30].

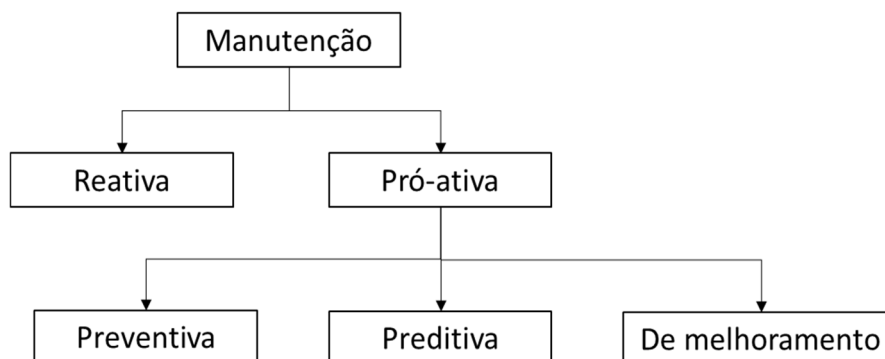


Figura 2- Organograma das estratégias de manutenção em geral (adaptado de [30])

A manutenção reativa é, normalmente, associada a reparações urgentes, relacionadas com a correção de anomalias. Usualmente, este tipo de manutenção acaba por ser realizada quando o EFM já atingiu o fim da sua vida útil. Neste tipo de abordagem, o EFM atinge o fim da sua vida útil devido à ausência de ações de manutenção [2], e, usualmente, são corrigidas as anomalias observadas não se procedendo à correção das causas que deram origem à incidência dessas anomalias.

A manutenção pró-ativa engloba três tipos de manutenção (Figura 2), nomeadamente, a manutenção preventiva, preditiva e de melhoramento. O objetivo da manutenção pró-ativa é estruturar as intervenções necessárias para que os EFM se mantenham em condições adequadas de desempenho por períodos de tempo mais longos.

A manutenção preventiva inclui todas as ações planeadas e com periodicidades fixas, que ajudam a diminuir trabalhos extraordinários, que não estão planeados, bem como ajuda a reduzir custos imprevistos. Na manutenção preditiva, as ações de manutenção são definidas a partir da observação dos elementos durante as inspeções periódicas [31]. Finalmente, a manutenção de melhoramento, implica ações de manutenção para melhorar as características iniciais do EFM [6].

2.5 Análise económica do ciclo de vida

2.5.1 Análise do custo de ciclo de vida - Life Cycle Costing (LCC)

De acordo com a ISO 15686-5: 2008 - *Life Cycle Costing* -, o custo do ciclo de vida corresponde “ao custo de um ativo ou das suas partes ao longo do seu ciclo de vida, enquanto cumpre os requisitos de desempenho” [32]. Contudo, o *Life Cycle Costing* equivale a “um método utilizado para estimar os custos globais do ciclo de vida, ao longo de um período de tempo (de todo o ciclo de vida ou de um período)” [32]. Estas definições indicam que esta ferramenta serve para apoiar a tomada de decisão, identificando quais são os custos associados ao ciclo de vida do elemento, e assim analisar alternativas conforme os objetivos propostos, sejam eles económicos ou com vista à sustentabilidade ambiental. O LCC é uma ferramenta relevante na determinação dos custos globais ao longo do ciclo de vida dos

edifícios e dos seus EFM, mas também revela alguma complexidade na sua utilização, pois são necessários inúmeros dados para que seja obtida uma estimativa adequada.

A norma 15686-5: 2008 refere que o LCC deve ser uma ferramenta expedita, fácil de implementar na prática, por todos os intervenientes no sector da construção. A norma apresenta os principais objetivos desta ferramenta LCC, tais como [33]:

- determinar uma terminologia e uma metodologia genérica;
- adoptar a análise LCC em métodos de compra;
- auxiliar a tomada de decisão ao longo do projeto;
- expor os riscos e as incertezas para melhorar a confiança nas previsões da LCC;
- fornecer orientações que levam à transparência e robustez da LCC;
- entregar indicações, instruções e definições para a análise e relatórios LCC;
- distinguir os conceitos de LCC e WLC (*Whole Life Costing*).

2.5.2. Custo global de ciclo de vida - *Whole Life Costing* (WLC)

O *Whole Life Costing* (WLC) corresponde a uma análise mais abrangente dos custos totais de um edifício, ou seja, inclui os custos totais que estão relacionados com a compra, utilização e manutenção a que está sujeito o elemento em questão [34]. Por outras palavras, corresponde ao LCC mais a soma dos custos externos, como apresentado na Figura 3. Enquanto o LCC só representa o custo durante todo o ciclo de vida do EFM, até que este deixe de cumprir os requisitos mínimos, o WLC, na sua prática, define a melhor relação custo-benefício entre diversas opções.

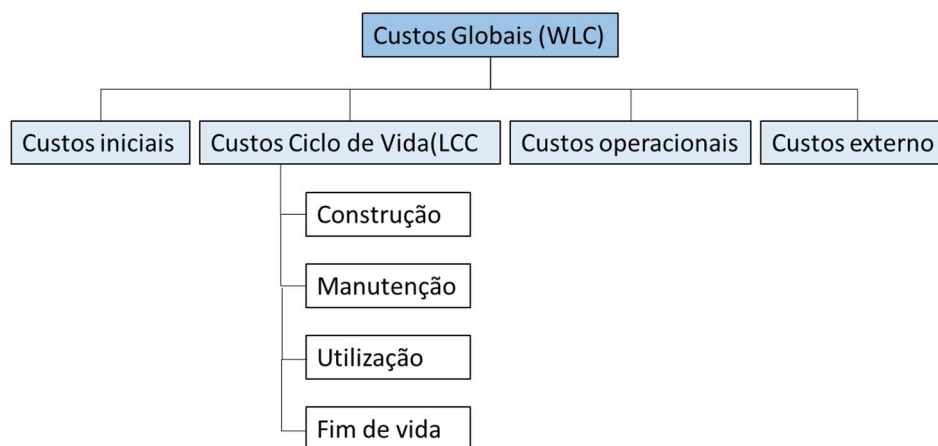


Figura 3 - LCC e WLC (adaptado de [35])

Para se utilizar esta ferramenta de forma adequada, é importante, em primeiro lugar, definir qual o objetivo para efetuar a análise de LCC. De seguida, importa determinar os diferentes parâmetros de análise, juntar todos os dados e custos para finalmente iterar e analisar os resultados obtidos com vista ao objetivo principal da análise [36].

Em paralelo a esta ferramenta, é possível também utilizar um cronograma financeiro, onde é referido o valor previsto para determinadas intervenções, bem como o valor efetivamente gasto.

2.4 Síntese do capítulo

A manutenção foi, durante muito tempo, negligenciada. No entanto, nos últimos anos, verificou-se que é uma prática importante para a durabilidade e sustentabilidade das construções. Esta prática atempada ajuda a que o edifício consiga cumprir os requisitos mínimos durante toda a sua vida útil. Nos edifícios existentes mais antigos, é difícil confirmar se ocorreram ações de manutenção ao longo da sua vida e, se sim, quais as ações realizadas e as soluções adotadas, uma vez que os dados sobre a manutenção dos edifícios são, normalmente, escassos e vagos. Nos edifícios em fase de projeto, deveria ser definido um plano de manutenção que apoiasse a tomada de decisão por parte dos proprietários ao longo do ciclo de vida do edifício.

Um edifício possui diferentes camadas de durabilidade, que devem ser tratadas de forma individual, para garantir que a análise das suas necessidades de manutenção seja mais intuitiva e de fácil compreensão. No caso da presente dissertação, é apenas analisada a envolvente exterior vertical, isto é, a fachada, e mais precisamente o seu revestimento em pedra natural.

Para a definição do plano de manutenção, são, em primeiro lugar, definidas as anomalias que podem ocorrer no revestimento (por exemplo, sujidade superficial, colonização biológica, fissuras, destacamentos, anomalias em juntas, entre outras). Em seguida, é essencial avaliar quais as ações de manutenção que devem ser aplicadas de forma a resolver as diferentes anomalias, de modo a melhorar o desempenho deste elemento. As diferentes ações de manutenção são agrupadas em quatro categorias principais: i) as inspeções; ii) as operações de limpeza; iii) as reparações e substituições pontuais; e iv) a substituição total.

De acordo com a literatura, assume-se uma vida útil de 70 anos para os revestimentos em pedra natural. A partir deste valor, são definidas periodicidades para as diferentes ações, sendo este o ponto de partida para a elaboração do plano de manutenção preventiva. Após elaboração do plano de manutenção preventiva, no capítulo seguinte, é elaborado um cronograma financeiro, com a determinação dos custos associados às diferentes ações de manutenção (considerando os anos em que as ações se realizam).

3. Plano de manutenção preventiva

3.1. Considerações iniciais

A presente dissertação pretende definir um plano de manutenção pró-ativa para os elementos da envolvente dos edifícios. É selecionado como objeto de estudo os revestimentos em pedra natural, com fixação direta ao suporte (dado que é um tipo de solução mais comum do que revestimentos pétreos com fixação mecânica). Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para definir o plano de manutenção, analisando diferentes cenários, tendo em consideração valores presentes na literatura para estabelecer as periodicidades para as diferentes ações de manutenção. A partir destes dados, são determinados os custos relativos aos planos de manutenção propostos.

3.2. Descrição da metodologia

Como mencionado acima, o objetivo deste trabalho é a definição de um plano de manutenção preventiva para revestimentos em pedra natural em fachadas de edifícios correntes. Na definição deste plano, são especificadas as ações a realizar ao longo do ciclo de vida do edifício, assim como as periodicidades das ações com base na literatura. Na definição deste plano, são analisados dois cenários:

- No primeiro cenário, ou cenário A, é analisado o período de estudo, sendo consideradas três hipóteses: i) 30 anos; ii) 70 anos; e iii) 150 anos;
- No segundo cenário, ou cenário B, é analisada a sensibilidade dos custos de ciclo de vida do plano de manutenção preventiva, considerando diferentes taxas:
 - **B.1.** Custos com taxa de inflação [PORDATA, 2020] e sem taxa risco;
 - **B.2.** Custos com taxa de inflação [PORDATA, 2020] e com taxa risco [PORDATA, 2020];
 - **B.3.** Custos sem taxa de inflação e com taxa de risco [PORDATA, 2020];
 - **B.4.** Custos sem taxa de inflação e sem taxa de risco.

A partir destes cenários, será avaliado o impacto destes parâmetros no plano de manutenção, permitindo a seleção do plano de manutenção mais adequado. Na Figura 4, apresenta-se um fluxograma da estratégia adotada no presente estudo.

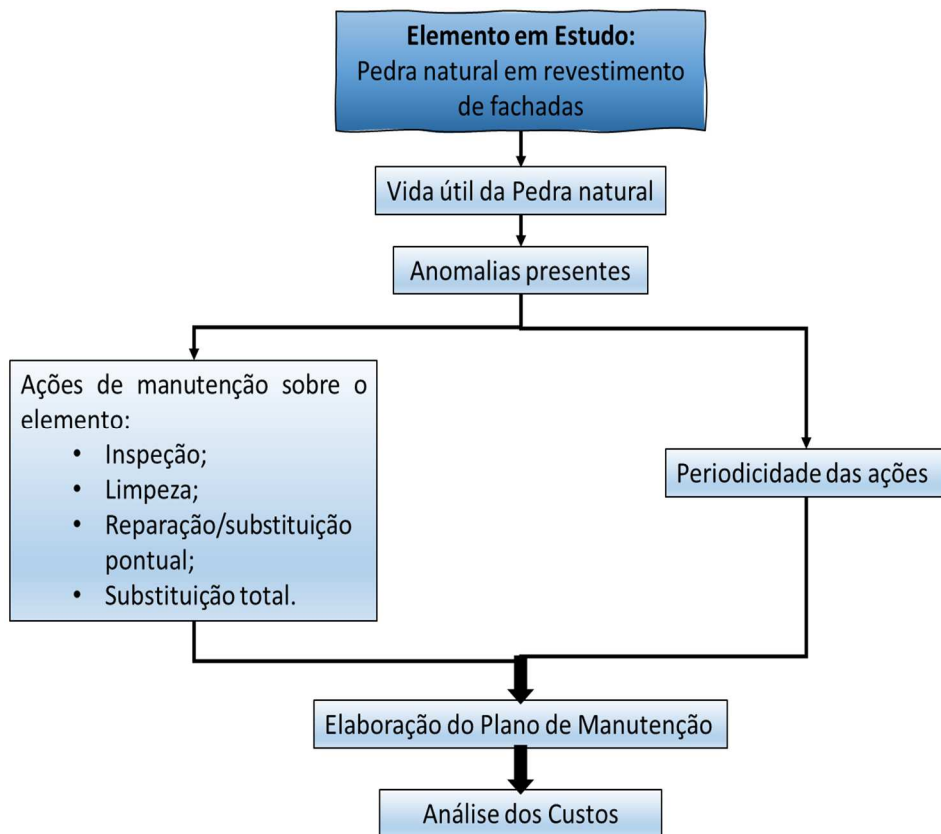


Figura 4- Fluxograma da estratégia adotada

3.3. Ações de manutenção

Inicialmente, é importante definir quais são as ações de manutenção que poderão ser realizadas em revestimentos em pedra natural fixada diretamente ao suporte. Na presente dissertação, as ações de manutenção analisadas são as seguintes:

- **Inspeção:** que corresponde a uma ação relevante para avaliar o estado de condição dos revestimentos, com vista à proposta de uma intervenção adequada. As inspeções propostas são, maioritariamente, visuais, mas podem ser complementadas com recurso a técnicas de diagnóstico não destrutivas [37], que ajudam a determinar de uma maneira mais detalhada a gravidade da degradação presente nos revestimentos em pedra natural;
- **Limpeza:** que pode ser de vários tipos, desde uma limpeza mais leve até uma limpeza mais profunda, passando por uma limpeza manual, mecânica, química ou uma limpeza mais específica. Estas ações de limpezas não anulam as causas das anomalias, mas ajudam a limitar a propagação das mesmas [24]. Neste trabalho, considera-se que as ações de limpeza são realizadas com recursos a meios de acesso, nomeadamente, andaimes. A fachada deve ser escovada de forma a eliminar os sais e eflorescências. Esta limpeza inclui também uma limpeza mecânica/química, isto é, a partir dum jato de água e de lixívia diluída a 10%, a fachada é limpa, com aplicação posterior de um produto fungicida [24]. É ainda considerada a possibilidade de ser necessária a remoção de *graffiti* na parte acessível da fachada, que implica uma limpeza específica à base de decapantes e jato de água. Após limpeza, é aplicado um produto hidrófugo

em toda a fachada. Este trabalho de proteção será realizado por um pintor, oficial de primeira, em que serão aplicadas várias demãos, para a superfície ficar devidamente protegida;

- **reparação e substituição pontual:** corresponde a uma ação mais profunda, em que pode ser feita uma reparação na própria superfície da pedra, tal como a colmatação de fissuras, mas também pode ser realizada a substituição do material de colmatação das juntas do revestimento ou até mesmo no material de assentamento e substituição pontual de elementos pétreos [9]. Assim sendo, nas reparações pontuais, são consideradas ações de reparação das juntas mais degradadas, com limpeza e/ou remoção do material de colmatação degradado, repondo o material em falta. São ainda reparadas as fissuras existentes e pode proceder-se a substituições pontuais, sempre que necessário [24];
- **Substituição total:** por fim, procede-se à substituição total do revestimento em pedra natural, quando este atinge o fim da sua vida útil, isto é, quando o revestimento apresenta uma degradação generalizada e já não apresenta um desempenho mínimo aceitável [24].

3.3 Periodicidade das diferentes ações

Na definição de planos de manutenção é essencial definir também as periodicidades de intervenção, principalmente, quando se trata de uma manutenção preventiva. Como foi referido anteriormente, este tipo de manutenção tem sempre uma periodicidade fixa, em função das ações consideradas. Nos pontos seguintes, é realizado um levantamento das periodicidades propostas na literatura para a realização das ações consideradas em revestimentos em pedra natural.

3.3.1. Inspeção

As inspeções devem de ser realizadas por técnicos, de forma a garantir que é feito um levantamento fiável do estado de condição dos revestimentos, sendo os técnicos responsáveis por definir as estratégias a adotar, de acordo com a análise feita na inspeção [9]. As inspeções podem dividir-se em três períodos distintos. Devem realizar-se inspeções depois de a construção estar concluída com períodos de 2 a 5 anos, pois será uma mais-valia para determinar as patologias existentes e assim resolver as anomalias recentes, provenientes do processo de construção. A seguir, existe o chamado “período intermédio”, em que estas inspeções devem ser feitas antes das intervenções e, por isso, têm periodicidade de 1 a 2 anos e ajudam a identificar a eficácia das ações efetuadas anteriormente. Por fim, no final do ciclo de vida dos elementos, as inspeções devem realizar-se a cada 2 a 5 anos, pois será a partir destas inspeções que será possível aferir se os revestimentos chegaram ao fim da sua vida útil [29]. Para as fachadas em pedra natural, é referido que as inspeções devem ser feitas de 5 em 5 anos [38], mas as inspeções correntes devem ocorrer a cada 15 a 24 meses, e as mais detalhadas e aprofundadas de 5 a 10 anos [39]. Será com a conjugação destes últimos dados, que serão definidos os planos de manutenção apresentados nesta dissertação. Assim, é possível definir a periodicidade escolhida para o plano de manutenção para os revestimentos em pedra natural, tal como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Periodicidade das inspeções em revestimentos em pedra natural

Ação	Periodicidade
Início	Bianual
Intermédio	Quinquenal
Final	Bianual

Assume-se que, durante o período de garantia, as inspeções serão realizadas a cada 2 anos, e em seguida, as inspeções realizar-se-ão de 5 em 5 anos até perto do fim de vida útil dos revestimentos em pedra natural, e na fase final, voltam a realizar-se de 2 em 2 anos.

3.3.2. Limpeza

O tipo de limpeza escolhido irá depender das anomalias presentes na fachada. No entanto, regra geral, as limpezas devem ser realizadas a um quarto da vida útil dos revestimentos; neste caso, considerando que a vida útil dos revestimentos em pedra natural é de 70 anos, as limpezas deveriam ser realizadas a cada 18 anos, aproximadamente [9]. Existem também outras periodicidades recomendadas, que são a cada 8 anos, e a cada 10 anos [9]. No presente estudo, considera-se que as ações de limpeza são realizadas a cada 10 anos. Após limpeza, considera-se a aplicação de um tratamento de superfície através da aplicação de produto hidrófugo, com o objetivo de evitar a infiltração da água nos revestimentos em pedra natural, mitigando assim o seu processo de degradação ao longo do tempo.

3.3.3. Reparação e substituição

As reparações ou as substituições pontuais devem ser realizadas quando os revestimentos em pedra natural se encontram em estados de degradação mais avançados. A reparação é sempre realizada antes de os revestimentos atingirem o fim da sua vida útil [40]. As reparações localizadas realizam-se, regra geral, a 1/3 da vida útil da pedra, o que representa a cada 23.33 anos, e a substituição localizada a cada 2/3, isto é, 46.67 anos [9]. Sintetizando a informação recolhida, adota-se uma periodicidade de 20 anos para as ações de reparação e substituição localizada, de forma a prolongar a vida útil dos revestimentos em pedra natural.

Finalmente, a substituição total será realizada no final da vida útil dos revestimentos em pedra natural, isto é, no fim de 70 anos, como referido anteriormente [9].

3.3.4. Síntese da periodicidade das ações

A partir das referências consultadas, foi possível elaborar um plano de manutenção considerando as diferentes intervenções propostas, bem como o escalonamento das ações, isto é, as diferentes periodicidades correspondentes a cada ação de manutenção escolhida para os revestimentos em pedra natural (Tabela 7).

Tabela 7 - Síntese da periodicidade das ações

Código	Ações	Escalonamento das ações				
		Anual	Bianual	Quinquenal	Decenal	Outro (anos)
A1	Inspeção		x	x		
A2	Limpeza				x	
A3	Tratamento de proteção- hidrófugo				x	
A4	Intervenção ligeira					20
A4.1	Jato de água e biocida					20
A4.2	Reparação de juntas					20
A4.3	Substituição da pedra					20
A4.4	Reparação de fissuras: abertura média					20
A4.5	Reparação de fissuras: abertura grande					20
A4.6	Consolidante					20
A5	Substituição total					70

No Anexo 1, apresenta-se o plano de manutenção preventiva para os revestimentos em pedra natural, considerando um ciclo de trinta anos, com as intervenções realizadas ao longo desse período.

3.4 Custos de intervenção

3.4.1 Custos de cada ação

i) Inspeção

O custo relativo às inspeções tem como base os valores do gerador de preços CYPE [41], considerando a ação de inspeção e a produção de um relatório técnico. Os valores de mão de obra estão ajustados à realidade nacional e à data atual. O custo da própria inspeção visual sobre os revestimentos em pedra natural refere-se a quatro fachadas com medidas de 25m x 10m de altura, com uma duração de 5h. Para a realização desta inspeção são necessários dois engenheiros civis (um deles, sénior). A Tabela 8 apresenta a descrição detalhada dos custos da inspeção.

Tabela 8 - Custo (€/m²) da inspeção (adaptado de [41])

Art.	Descrição	Unid.	Rend.	Custo unitário	Custo total
1	Inspeção visual Avaliação da condição de degradação dos revestimentos em pedra natural através da identificação das anomalias que podem afetar o desempenho em serviço do revestimento analisado, identificando as características particulares desse revestimento. A inspeção pode ser apenas visual ou complementada por ensaios não destrutivos <i>in situ</i> . A inspeção deve ser realizada por pessoas especializadas.				1,03 €
1.1	Relatório técnico sobre a patologia do edifício a reabilitar, em estado de conservação normal, redigido com um nível de especificação básico, considerando uma distância de deslocamento ao edifício até 25 km.	m ²	-	0,35 €	0,35 €
1.2	Mão-de-Obra				
1.2.1	Engenheiro civil	h	0,005	65,00 €	0,33 €
1.2.2	Engenheiro civil	h	0,005	65,00 €	0,33 €
1.3	Custos diretos complementares	%	2	1,01 €	0,02 €
	TOTAL GLOBAL:	m²			1,03 €

ii) Limpezas

Os valores relativos à ação de limpeza foram retirados do gerador de preços CYPE. Considerou-se ser necessário o aluguer de andaimes, o seu transporte e remoção, bem como a sua montagem e a desmontagem. Os valores para calcular cada uma destas parcelas foram retirados do gerador de preços que fornece um custo total para os andaimes de 10,40€/m².

Para determinar os custos das ações de limpeza, foi considerado o custo de escovagem manual, com o valor de 9,95€/m² em que este valor representa maioritariamente mão-de-obra. Para a limpeza química, isto é limpeza com jato de água e fungicida, sobre toda a área da fachada, o custo é de 20,16€/m², em que este valor engloba os produtos necessários, os materiais e o valor de mão-de-obra. Para a limpeza de *graffiti* foi considerado que a cada intervenção de limpeza possa observar-se a presença de *graffiti*, na parte acessível do edifício, pelo que se contemplou um custo associado à limpeza de 10% da fachada, com um custo de 4,50€/m². As ações consideradas na limpeza dos revestimentos conduzem a um custo total de **45,01€/m²**.

Contudo, para complementar esta ação, depois de a fachada estar totalmente limpa e seca, pode ser aplicado um produto hidrófugo sobre toda a área da fachada que tem um custo de **4,71€/m²**.

Tabela 9 - Custo (€/m²) da limpeza

		Unidade	€/m ²
Andaime	Aluguer, transporte e remoção, montagem e desmontagem	m ²	10,40
Limpeza	- Utilização de jato de água e fungicida	m ²	20,16
	- Escovagem manual	m ²	9,95
	- Limpeza de <i>graffiti</i> (10%)	m ²	4,50
Total			45,01
Hidrófugo	Aplicação do produto hidrófugo na superfície	m ²	4,71

iii) Reparação e substituição pontual

Os custos associados à reparação e substituição pontual são apresentados na Tabela 10. Estes custos englobam o custo do uso de andaimes (10,40€/m²). Além disso, considera-se que antes de se iniciar qualquer tipo de intervenção, é necessário proceder a uma ação de limpeza em toda a área da fachada, com o valor de 34,61 €/m² (como apresentado na Tabela 9). Considera-se que durante a reparação pontual será necessário corrigir as anomalias existentes. Para isso, é tida em consideração a Tabela 3, que ilustra as anomalias mais comuns nas várias condições de degradação dos revestimentos em pedra natural.

Tabela 10 - Custo (€/m²) da substituição e reparação pontual

		unidade	€/m ²
Andaime	Aluguer, transporte e remoção, montagem e desmontagem	m ²	10,40
Limpeza	Jato de água e biocida	m ²	34,61
Reparação e substituição da pedra	Reparação de juntas (20%)	m ²	3,13
	Substituição da pedra (5%) + reparação de fissuras de abertura superior a 1mm com a substituição da pedra (2%)	m ²	9,77
	Reparação de fissuras: abertura até 1 mm (15%)	m ²	1,33
	Aplicação de consolidante (5%)	m ²	0,18
Total			59,25

Nesse sentido, considera-se necessário reparar as anomalias em juntas, o que corresponde à remoção de material de colmatação degradado e aplicação de um novo material de preenchimento das juntas. Considera-se que 20% da área da fachada deve ser alvo de intervenção ao nível das juntas, o que implica um custo total de 3,13€/m². Os revestimentos em pedra natural podem também apresentar fissuras. Com base na Tabela 3, foram assumidas as seguintes percentagens de intervenção: i) para fissuras com largura superior a 1mm, presentes em 2% da área da fachada, considera-se que a melhor solução passa pela substituição da placa pétreo; ii) além disso, é prevista ainda a necessidade de substituir 5% da pedra natural na área da fachada devido a lascagem ou até alterações volumétricas nos elementos pétreos, o que conduz a um custo de 9,77€/m²; iii) para fissuras até 1 mm, considera-se uma área de reparação de 15% da fachada, sendo obtido um custo de 1,33€/m². Na substituição destes elementos, contempla-se a preparação da superfície. Neste tipo de intervenção, foi ainda considerado a aplicação de consolidantes em 5% da área da fachada, tendo um custo de 0,18€/m². O custo total para esta intervenção é de **59,25 €/m²**.

iv) Substituição integral

A substituição total dos revestimentos em pedra natural contempla também a utilização de andaimes, que tem um valor de 10,40 €/m². Para este tipo de intervenção, em primeiro lugar, é necessário remover todos os elementos em pedra natural presentes na fachada, seguido da preparação da superfície para receber o novo elemento. Esta ação tem um custo de 13,42 €/m². Para a colocação dos novos elementos em pedra natural, determinou-se que seriam placas de pedra fixadas com cimento cola e grampos de ancoragem num valor de 115,76 €/m². O custo total para a substituição total é de **139,58 €/m²**.

Tabela 11 - Custo (€/m²) da substituição integral

		unidade	€/m ²
Andaime	Aluguer, transporte e remoção, montagem e desmontagem	m ²	10,40
Remover a pedra	Retirar a pedra natural antiga e preparar a superfície para aplicar a nova	m ²	13,42
Aplicar	Aplicação da nova pedra com cimento cola e grampos de ancoragem	m ²	115,76
Total			139,58

3.4.2 Apresentação dos resultados para os Cenários A e Cenários B

A partir das periodicidades e dos custos de cada operação de manutenção referidos anteriormente é possível determinar os custos para cada ação nos anos em que se vai proceder à intervenção. Para determinar o custo desse ano, é necessário utilizar a equação (1), onde o C_0 representa o custo da ação no ano zero, e $t_{inflação}$, representa a taxa de inflação no ano de 2020.

$$C_t = C_0(1 + t_{inflação})^t \quad (1)$$

De seguida, determina-se o valor a preço corrente de cada um dos anos, somando as diferentes ações que serão realizadas ao longo desse ano (C_t). Tendo o valor a preço corrente calcula-se o Valor Atualizado do ciclo de vida (VA LCC) também por cada ano, a partir da equação (2).

$$VA LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+t_a)^t} \quad (2)$$

Onde t representa o ano em que se está a calcular o VA LCC e $t_{atualização}$ a taxa de atualização deduzida a partir da equação (3).

$$t_a = [(1 + T_1) * (1 + T_2) * (1 + T_3)] - 1 \quad (3)$$

Onde T_1, T_2 e T_3 representam a taxa de inflação, a taxa de rendibilidade de obrigações do tesouro a 10 anos (ou taxa de juro sem risco), e a taxa com risco, respetivamente.

A partir do valor atual VA LCC também deve ser calculado o valor da anuidade, também referido como valor anual equivalente (VAE LCC) - equações (4) e (5).

$$VAE LCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+t_a)^t} * \frac{t_a * (1+t_a)^N}{((1+t_a)^N - 1)} \quad (4)$$

$$VAE LCC = \frac{VA LCC}{N} \quad (5)$$

Onde N é igual ao período de estudo a considerar.

Na presente dissertação, são considerados dois cenários, os cenários A e B, que serão apresentados em seguida.

Cenário A

Este cenário incide sobre o período de estudo considerado, assumindo uma taxa de 0% para esta análise. Para a determinação do Valor Anual Equivalente, utiliza-se a equação (2), visto não existir taxa de atualização. Neste caso, consideram-se três casos de estudo (Tabela 12):

- **Cenário A.1:** tem como período de estudo 30 anos (Anexo 2). Para este período de análise, obtém-se um VA LCC de 219,31€/m², o que corresponde a um valor anual equivalente de 7,31€/m²;
- **Cenário A.2:** neste caso, o período de análise é de 70 anos, que corresponde à vida útil estimada para os revestimentos em pedra natural. Para este período de análise, obtém-se um VA LCC de 626,63 €/m² e, como seria de esperar, o valor anual equivalente também aumentou em comparação com o período em análise anterior. Quando se aumenta o período de análise,

naturalmente, ocorre um aumento de intervenções onerosas, como, por exemplo, a substituição total dos revestimentos em pedra natural no fim da sua vida útil;

- **Cenário A.3:** no último caso, considera-se um período de estudo mais elevado, estendendo-se para 150 anos. O valor anual equivalente continua mais elevado que no caso A.1, mas é semelhante ao do caso A.2, uma vez que são realizadas as mesmas ações sobre os revestimentos em pedra natural, mas durante o dobro dos anos.

Tabela 12 - Valor Anual Equivalente para o Cenário A

Cenário	VA LCC (€/m ²)	VAE LCC (€/m ²)
A.1	219,31	7,31
A.2	626,63	8,95
A.3	1301,75	8,68

Cenário B

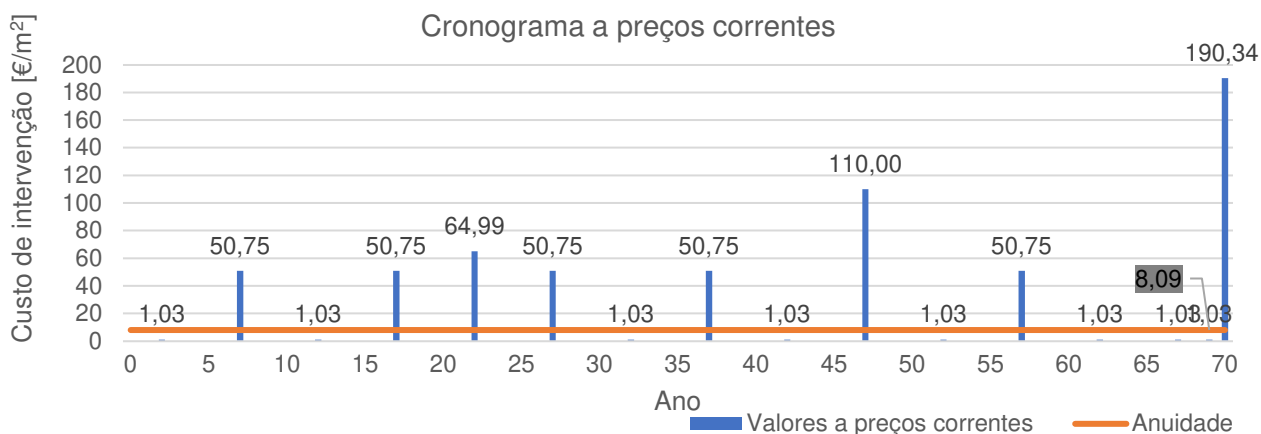
O Cenário B incide sobre a variação das taxas de inflação e sobre as taxas de risco e como estas taxas influenciam os custos de manutenção ao longo do ciclo de vida dos revestimentos em pedra natural. São consideradas quatro hipóteses no cenário B, apresentadas na Tabela 13. Considera-se uma taxa de iliquidez igual à taxa de rendibilidade das obrigações do tesouro a 10 anos, com o valor de 0.8%, que se mantém igual para todos os casos analisados no cenário B. A taxa de inflação de 2021, de acordo com o PORDATA, é de 0% e, como tal, não seria possível avaliar o impacte da inflação no cálculo dos custos de manutenção. Assim sendo, foi utilizada a taxa de inflação à data do início deste trabalho, de acordo com a PORDATA (2020). Relativamente à taxa de risco, considera-se um prémio de risco de 5%, para investimentos imobiliários nas condições atuais (com base na relação valores de renda / valores de transação atuais).

Tabela 13 - Tabela resumo das taxas para o Cenário B

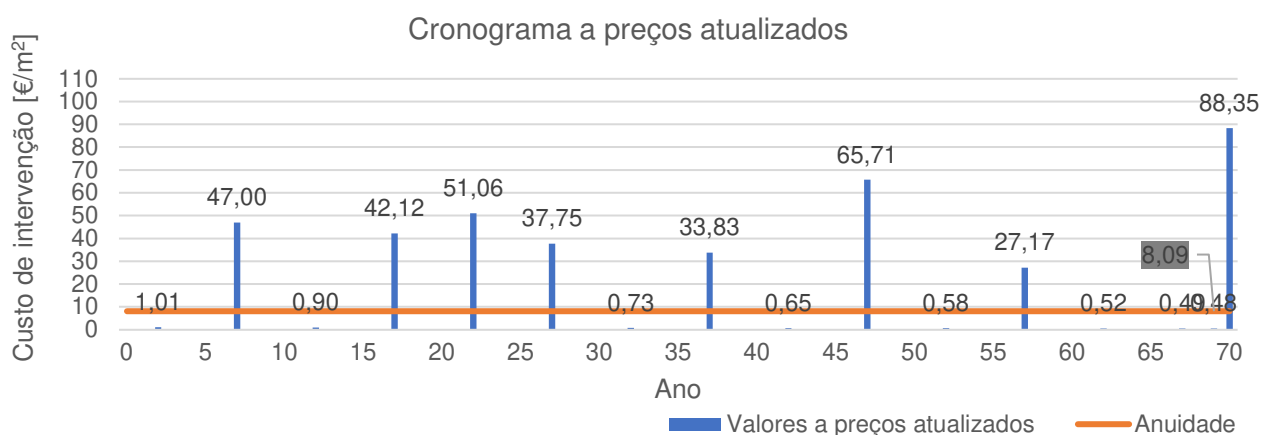
CENÁRIO B	Ano 2020			
	B.1	B.2	B.3	B.4
taxa de inflação	0,30%	0,30%	0,00%	0,00%
taxa de rendibilidade de obrigações do tesouro a 10 anos	0,80%	0,80%	0,80%	0,80%
taxa de risco	0,00%	5,00%	5,00%	0,00%
taxa de atualização	1,10%	6,10%	5,80%	0,80%

Os resultados obtidos são apresentados sob a forma de um cronograma financeiro a preços correntes num período de estudo de 150 anos para cada uma das hipóteses no cenário B (mas mostrando um gráfico relativo a 70 anos, ou seja, até fim da vida útil dos revestimentos em pedra natural), bem como o valor da anuidade obtida:

- **Cenário B.1:** no primeiro caso, existe inflação, mas não existe risco, levando a uma taxa de atualização nominal de 1,1%. O valor anual equivalente ou a anuidade é de 8,09€/m².



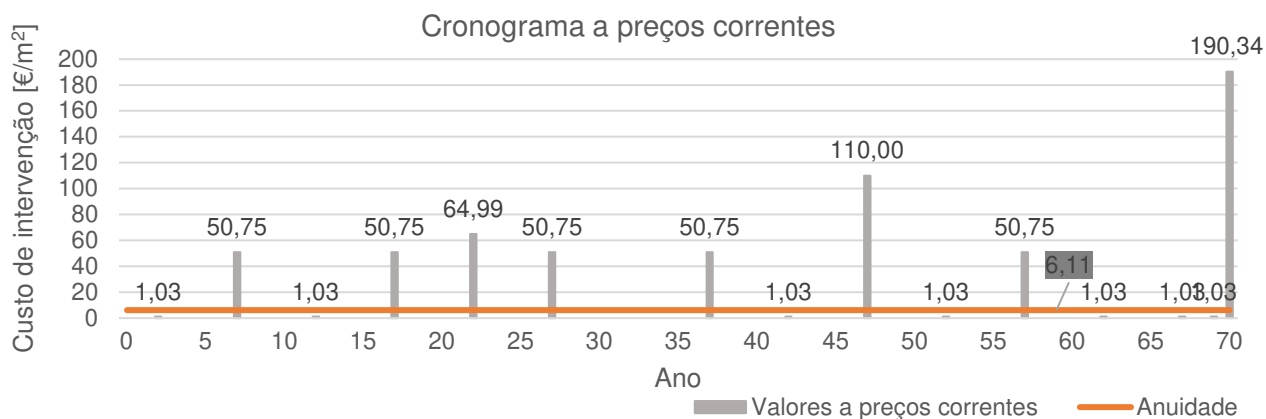
a)



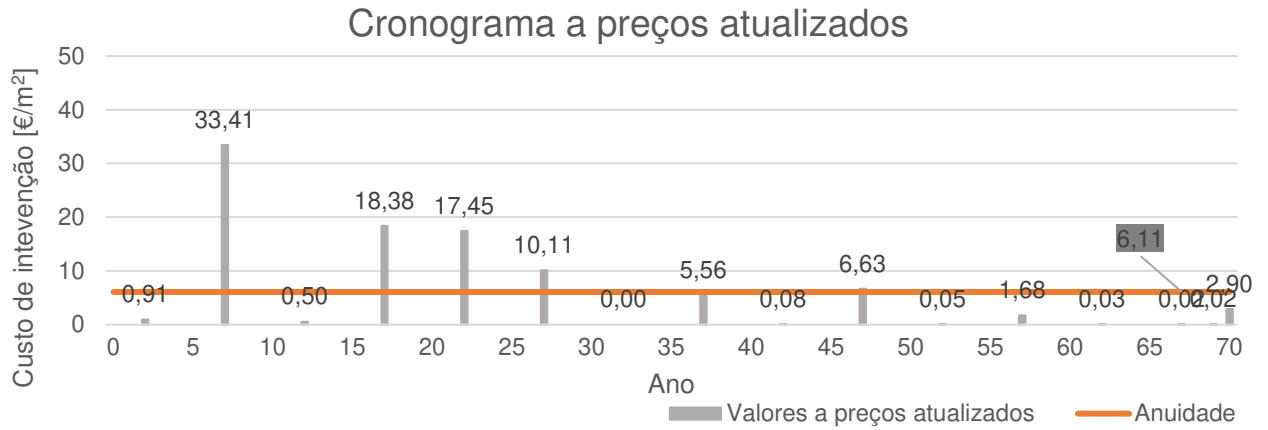
b)

Figura 5- Cronograma financeiro do Cenário B.1: a) cronograma a preços correntes; b) cronograma a preços atualizados

- **Cenário B.2:** no segundo caso, continua a existir inflação, mas também há taxa de risco, tendo uma taxa de atualização nominal de 6,20%. A anuidade que corresponde a este cenário é de 6,11 €/m².



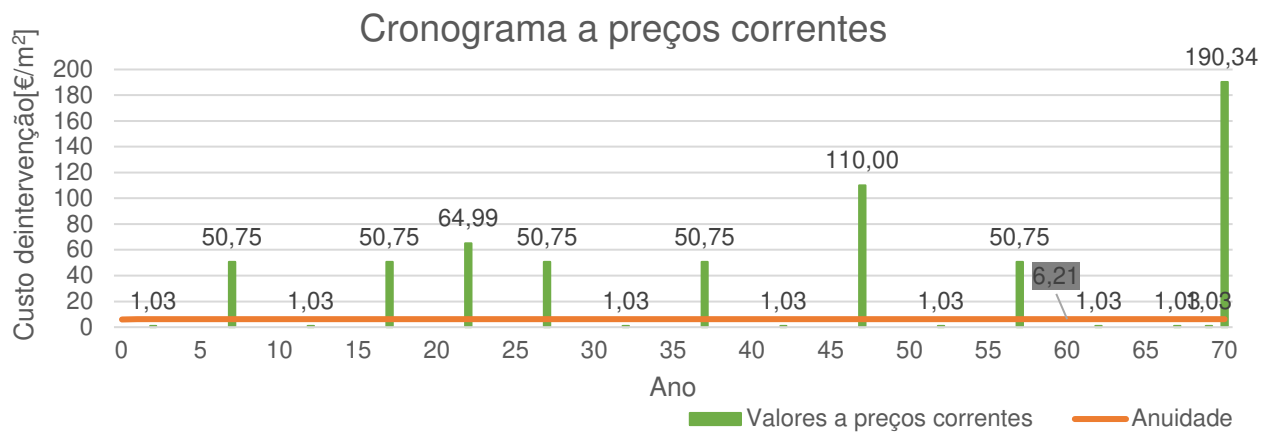
a)



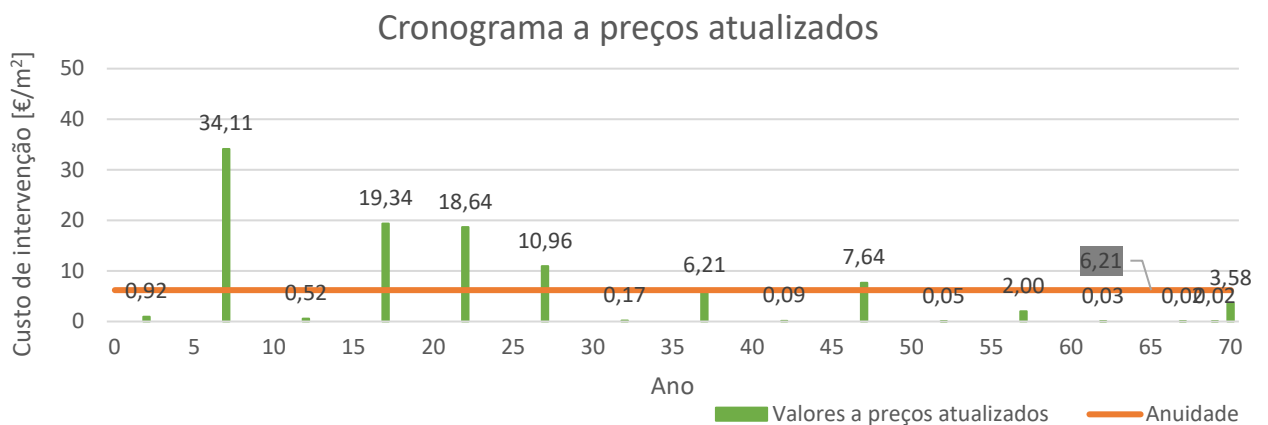
b)

Figura 6- Cronograma financeiro do Cenário B.2: a) cronograma a preços correntes; b) cronograma a preços atualizados

- **Cenário B.3:** no terceiro cenário não há taxa de inflação, mas há taxa de risco, tendo uma taxa de atualização real de 5,80%. A anuidade para o cenário B.3 é de 6,21 €/m².



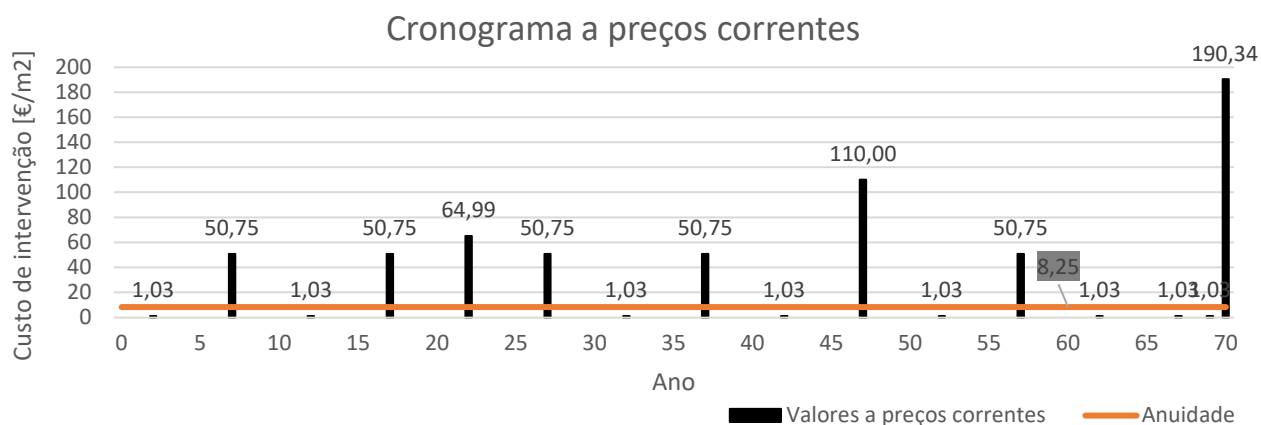
a)



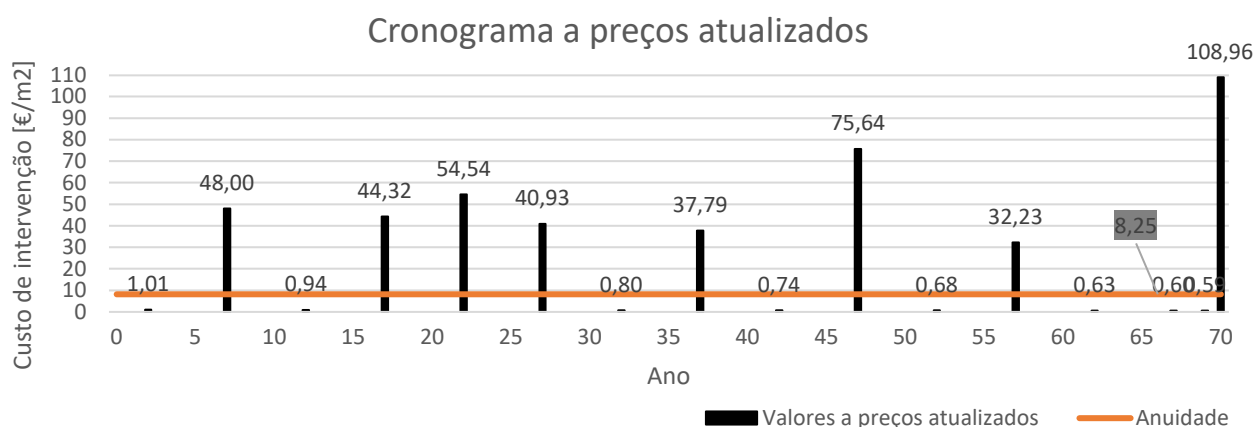
b)

Figura 7- Cronograma financeiro do Cenário B.3: a) cronograma a preços correntes; b) cronograma a preços atualizados

- **Cenário B.4:** o último cenário B não apresenta nem taxa de inflação, nem taxa de risco, tendo uma taxa de atualização real de 0,80%. A anuidade no cenário B.4 é de 8,25 €/m².



a)



b)

Figura 8- Cronograma financeiro do Cenário B.4: a) cronograma a preços correntes; b) cronograma a preços atualizados

Os resultados obtidos no cenário B serão uma mais-valia para uma análise de sensibilidade, pois será a partir destes diferentes cenários que se escolhe a taxa mais adequada para assim no próximo capítulo conseguir uma comparação entre o plano de manutenção com base na condição, baseada em dados históricos e em inspeções no local, com o plano de manutenção preventiva, que tem como base a literatura.

É possível verificar que as taxas de atualização vão influenciar os resultados das anuidades. O Cenário B.4 tem a anuidade mais alta entre todos os cenários, devido a não existir nem taxa de inflação nem taxa de risco. A segunda anuidade mais alta é do cenário B.1, que se deve ao facto de não ser considerada a taxa de risco e só ser tida em conta a taxa de inflação. Estes resultados demonstram que quanto menor é a taxa de atualização, mais alta será a anuidade. Os cenários B.2 e B.3 apresentam taxas de atualização superiores que levam a anuidades mais baixas. Os resultados revelam que a taxa de inflação influencia em cerca de 2% o valor de anuidade.

A taxa de risco tem um maior impacto sobre a taxa de atualização, pois a mesma apresenta um valor bastante elevado de 5%, comparativamente com as demais taxas. Por exemplo, para o cenário B.1, quando a taxa de risco é de 0% a anuidade é de 8,09€/m², enquanto no cenário B.2, existindo a taxa de risco de 5% a anuidade é de 6,11€/m², o que demonstra que a anuidade passa a ser mais baixa, o que implica que a taxa de risco reduz o valor de anuidade em 24%. A taxa de inflação é muito baixa com um valor de 0,30%, valor este que por ser tão reduzido não influencia significativamente a taxa de atualização e a anuidade, como se pode verificar entre o cenário B.2 e B.3, mas também com o B.1 e B.4.

Para o próximo capítulo a taxa escolhida é a do cenário B.3 que é de 5,80%, esta taxa de atualização será arredonda para a taxa de 6%, a mesma não apresenta taxa de inflação, pois o período de estudo é muito extenso, mas apresenta taxa de risco. Abaixo está representado uma tabela resumo dos resultados obtidos acima:

Tabela 14- Tabela resumo das anuidades

CENÁRIO B	B.1	B.2	B.3	B.4
Anuidade (€/m ²)	8,09	6,11	6,21	8,25

3.5 Síntese do capítulo

Neste capítulo, são descritas as diferentes ações de manutenção de forma detalhada, descrevendo em que consistem as diferentes ações consideradas. Foram ainda determinadas as periodicidades de cada ação de manutenção. Após determinar estes dois pontos essenciais, determina-se o custo de cada uma das ações, com base no gerador de preços - CYPE.

Com base nesta informação, no cenário A, foram calculados os custos de manutenção, considerando diferentes períodos de análise para os revestimentos em pedra natural. Desta forma, foram analisados três períodos: 30, 70 e 150 anos. Relativamente ao cenário B, assume-se uma vida útil estimada de 70 anos para os revestimentos em pedra natural, sendo analisadas diferentes taxas de atualização, considerando a inclusão ou não da taxa de inflação, assim como a inclusão da taxa de risco, no cálculo da anuidade do plano de manutenção. Os resultados dos custos por cada ano são apresentados em dois gráficos diferentes, a preços correntes/constantess e a preços atualizados para cada uma das hipóteses do cenário B. Analisa-se assim um total de sete cenários que servirão de base para a seleção da hipótese mais adequada com vista à modelação do impacto das ações de manutenção na vida útil e durabilidade dos revestimentos em pedra natural. No próximo capítulo, o cenário selecionado é usado para comparar o plano de manutenção preventiva descrito neste capítulo e um modelo de manutenção com base na condição, considerando dados históricos sobre a degradação de revestimentos em pedra natural analisados *in situ*.

4. Manutenção preventiva versus manutenção com base na condição

Neste capítulo o plano de manutenção preventiva definido no capítulo anterior é comparado com um plano de manutenção com base na condição, isto é, com base em inspeções realizadas a 203 casos de estudo, tendo sido avaliada a sua condição de degradação e o impacto das diferentes ações de manutenção sobre o revestimento de fachada de pedra natural. Estas inspeções e a modelação que apresenta diferentes dados feita sobre a degradação do revestimento de pedra natural, mencionadas acima fazem parte de um projeto de investigação a decorrer no Instituto Superior Técnico [16]. Esta comparação é realizada tendo em conta as ações definidas na presente dissertação, considerando os custos e as taxas obtidas no capítulo 3.

Como referido, o objetivo do capítulo é comparar o plano de manutenção preventiva, que se baseia na literatura para definir as periodicidades de intervenção, e um plano estabelecido com base na inspeção de casos reais, cujas ações são realizadas após a inspeção e avaliação da condição. No projeto de investigação, é utilizado um modelo estocástico, para modelar os efeitos na manutenção da degradação dos revestimentos em pedra natural [42]. A descrição do modelo estocástico está fora do âmbito da presente dissertação de Mestrado, no entanto, ao longo deste capítulo as questões essenciais à compreensão do modelo são descritas brevemente. Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, comparando as duas estratégias na definição de planos de manutenção.

4.1 Considerações iniciais

A leitura dos resultados obtidos a partir das simulações realizadas, com vista à comparação da manutenção preventiva e a manutenção com base na condição, requer que se conheça o índice de degradação usado para classificar a condição dos revestimentos em pedra natural. Este indicador numérico, designado de severidade da degradação (S_w) é constituído por cinco condições de degradação (Figura 5). Isto é, a condição mais favorável é a condição de degradação A, pois esta não apresenta qualquer degradação visível. Por outro lado, a condição mais desfavorável que é a condição de degradação E, na qual o revestimento apresenta uma degradação generalizada, devendo ser alvo de manutenção.

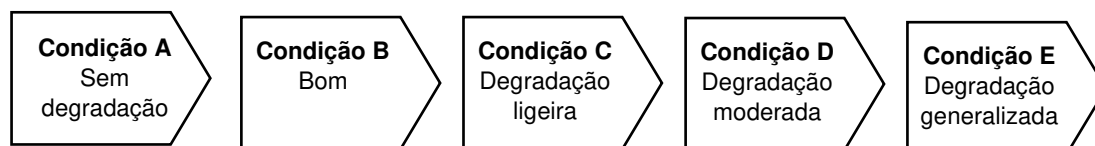


Figura 9 - Sistema de classificação da condição de degradação dos revestimentos em pedra natural (adaptado [20, 21])

O S_w é determinado a partir da razão entre a área degradada, que é ponderada de acordo com a condição de degradação e a gravidade das anomalias existentes, e a área de referência que representa toda a fachada com “o maior nível de degradação teoricamente possível” [20] - Equação (6).

$$S_w = \frac{\sum(A_n * k_n * k_{a,n}) + \sum(A_j * k_n * k_{a,n}) + \sum(A_f * k_n * k_{a,n}) + \sum(A_i * k_n * k_{a,n})}{A * \sum(k_{max})} \quad (6)$$

Onde A_n representa a área do revestimento afetada por anomalias superficiais, A_j a área do revestimento que compreende anomalias em juntas, A_f a área do revestimento com anomalias na fixação ao suporte e, finalmente, A_i a área do revestimento com anomalias na perda de integridade. Estas áreas quantificam-se em metros quadrados. O k_n é um fator multiplicativo da anomalia n consoante a condição de degradação e o $k_{a,n}$ representa um “coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo de cada anomalia” [20].

A tabela 15 apresenta a percentagem de severidade de degradação correspondente a cada uma das condições de degradação apresentadas na Figura 5.

Tabela 15 - Intervalo do índice de severidade de degradação para cada condição de degradação (adaptado [20,21])

Condição de degradação	Severidade de degradação, S_w
A	$S_w \leq 1\%$
B	$1\% < S_w \leq 8\%$
C	$8\% < S_w \leq 20\%$
D	$20\% < S_w \leq 45\%$
E	$45\% \geq S_w$

Na modelação realizada, é ainda considerado um índice de eficiência (IE), descrito na equação (7). Este índice compara a eficiência das várias estratégias de manutenção realizadas, avaliando a eficiência que uma determinada estratégia de manutenção para manter o revestimento em pedra natural em condições mais favoráveis de degradação (com menores taxas ou níveis de degradação) [41]. De uma outra forma, pode dizer-se que quanto menor é a degradação dos revestimentos em pedra natural, maior será o seu índice de eficiência.

$$IE = \frac{\int_0^{t_h} c(t) dt}{100 * t_h} \quad (7)$$

O valor obtido do IE varia entre 0 e 1, onde o valor de 0 apresenta uma gravidade de degradação de 100% e 1 uma gravidade de degradação de 0%.

O numerador corresponde à área que se encontra abaixo da curva de degradação e o denominador é a área da curva de degradação para o caso de a condição de degradação ser a melhor, neste caso, não existe degradação e a severidade de degradação é de 0%. O valor 100 significa a escala da variável severidade de degradação e t_h representa o tempo horizonte, que neste caso é de 150 anos.

4.2 Modelação e apresentação dos resultados obtidos

O tempo horizonte nesta modelação é de 150 anos e considera-se uma taxa de atualização real arredondada a 6%, correspondente ao cenário B.3 (capítulo 3), onde é considerada a taxa de risco e a taxa de rendibilidade, mas não se considera a taxa de inflação.

A modelação relativa à degradação dos revestimentos em pedra natural é realizada através de uma distribuição de Weibull [16].

Os custos que irão ser utilizados neste capítulo, são os custos obtidos e apresentados no capítulo 3. A Tabela 15 apresenta um resumo com os custos utilizados na modelação, que serão comuns aos dois planos, isto é, ao plano de manutenção preventiva e ao plano de manutenção com base na condição.

Tabela 16 - Custos utilizados para cada intervenção (€/m²)

Intervenções	Custos (€/m ²)
Substituição total (ST)	139,58
Intervenção ligeira (IL)	59,25
Operação de limpeza (OL)	45,01

No plano de manutenção com base na condição é estipulado desde início que serão realizadas inspeções periódicas, a cada cinco anos, e o custo da mesma é de 1,03 €/m². Neste plano, é ainda estabelecido que a zona de aplicação das operações de limpeza no sistema de classificação se encontra na *condição B*, para as intervenções ligeiras é na *condição C* e para a substituição total é na *condição D* ou *E*. Ou seja, as ações realizam-se sempre que uma inspeção revelar que os revestimentos se encontram nas condições de degradação respetivas. A vida útil do revestimento de pedra natural é variável, isto é, pode ir aumentando consoante as intervenções realizadas.

No plano de manutenção preventiva, visto serem definidas periodicidades fixas, adota-se uma estratégia diferente, ou seja, qualquer uma das intervenções está compreendida entre a *condição A* e *E*, e as periodicidades são as estabelecidas anteriormente: i) as operações de limpeza realizam-se a cada dez anos; ii) as intervenções ligeiras, a cada vinte anos; iii) e, a substituição total, ao fim de 70 anos, que corresponde ao limite de vida útil dos revestimentos em pedra natural. A vida útil no plano de manutenção preventiva é fixa, e igual a 70 anos.

A partir destes pressupostos, serão comparados os dois planos de manutenção mencionados. Para cada um dos planos, analisar-se-á o impacto que as diferentes estratégias apresentadas terão sobre os revestimentos em pedra natural.

4.2.1 Estratégia de manutenção 1 (EM1)

Na estratégia de manutenção 1, a substituição é realizada quando os revestimentos em pedra natural atingem o fim da sua vida útil, isto é, após 70 anos. A Figura 10 apresenta a comparação do índice de degradação (S_w) ao longo do tempo horizonte (150 anos).

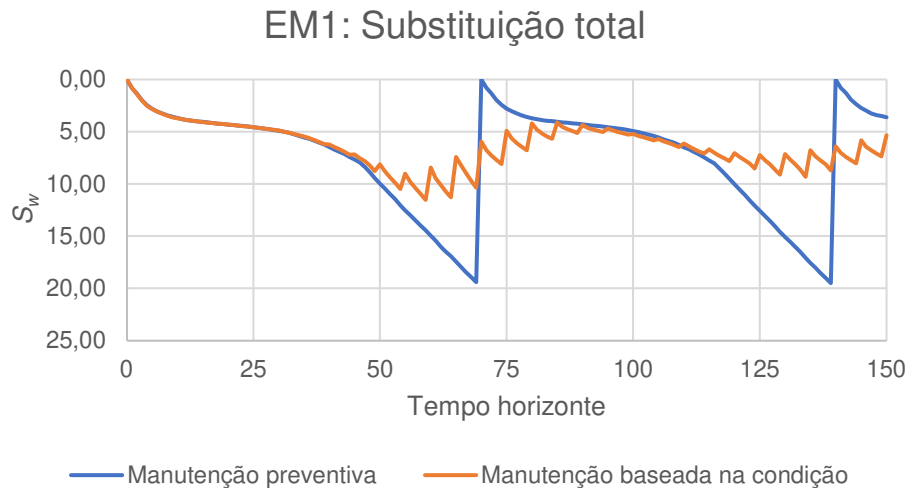


Figura 10 - Estratégia de manutenção 1: comparação do S_w

Na Figura 10, é possível verificar que as duas curvas se encontram praticamente sobrepostas até ao ano 40 e que, a partir deste ponto, começam a distinguir-se com facilidade. Na linha da estratégia com base na condição, antes do ano 50, verificam-se vários picos de cinco em cinco anos, que correspondem às inspeções realizadas neste plano de manutenção. No momento da inspeção, pode ocorrer uma intervenção (mediante a condição de degradação observada). O facto de se observarem diferentes picos deve-se às intervenções realizadas, pois as mesmas ocorrem em tempos diferentes, nas várias curvas de degradação obtidas na simulação de Monte Carlo. A linha que representa o plano de manutenção preventiva só possui um pico, aos 70 anos, quando chega ao fim da vida útil dos revestimentos em pedra natural, com um índice de degradação de 20%. Assim sendo, no ano 70, ocorre a intervenção, que nesta estratégia é a substituição total, baixando assim novamente o índice de degradação para zero (assumindo que após substituição o revestimento fica numa condição como sendo novo).

A Figura 11 apresenta os custos a preços constantes dos dois planos de manutenção ao longo do tempo horizonte, com uma taxa de atualização real de 6%, que será idêntico para as próximas estratégias de manutenção. O plano de manutenção com base na condição apresenta custos a cada 5 anos, devido às inspeções quinquenais. Devido a estas inspeções, obtém-se um custo total no final do tempo horizonte bastante elevado (5,79€/m²) comparativamente com o plano de manutenção preventiva (2,40€/m²). No caso da manutenção preventiva, o único custo diz respeito à substituição do revestimento no ano 70.

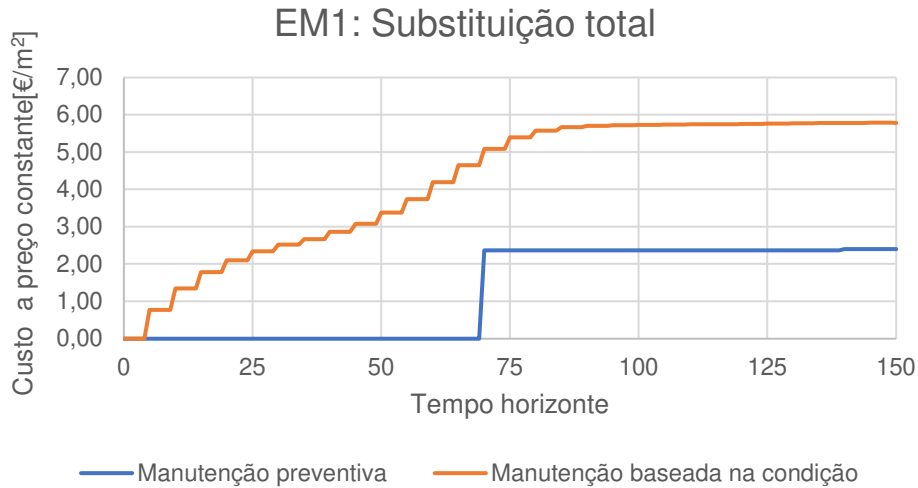


Figura 11 - Estratégia de manutenção 1: comparação dos custos a preço constante (€/m²)

4.2.2 Estratégia de manutenção 2 (EM2)

Na estratégia de manutenção 2, além da substituição total, são realizadas intervenções ligeiras ao longo do tempo horizonte. A Figura 12 apresenta a comparação do impacto das duas estratégias de manutenção nos índices de degradação dos revestimentos em pedra natural. Na manutenção com base na condição, mantêm-se os picos a cada cinco anos, mas também se observa uma severidade de degradação inferior a 8%, equivalendo a uma condição de degradação *B*. Para o plano de manutenção preventiva foram sobrepostas duas curvas, a curva relativa à substituição total (ST) e a curva das intervenções ligeiras (IL), isto quer dizer que do ano 0 até ao ano 69 segue-se a curva da IL e, no ano 70, existe a ST. Como ocorre esta ST o S_w melhora para 0% continuando assim sucessivamente até ao ano 150. Observam-se ressaltos do S_w de 4% para 6%, devido à primeira aplicação da IL.

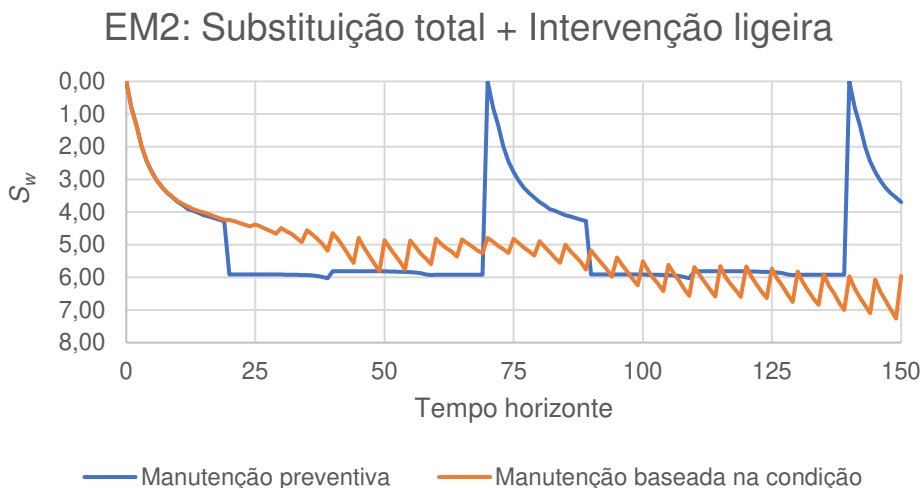


Figura 12 - Estratégia de manutenção 2: comparação do S_w

A Figura 13 apresenta os custos acumulados ao longo o tempo horizonte. Neste caso, o custo do plano de manutenção preventiva é muito superior ao custo com base na condição. O custo com base na condição tem um ligeiro aumento a cada cinco anos que também são relativos às inspeções e a partir

do ano 75 começa a ser praticamente constante. Quanto ao plano de manutenção preventiva, as diferenças são mais visíveis, até ao ano 19 não existem custos, mas, a partir do ano 20, estes aumentam consideravelmente pois ocorre a primeira intervenção ligeira, que passa a ser realizada de vinte em vinte anos (sem se analisar a condição de degradação, o que implica que são realizadas ações desnecessárias durante esse período) e, no ano 70, ocorre a substituição total, relativa ao fim de vida útil dos revestimentos em pedra natural.

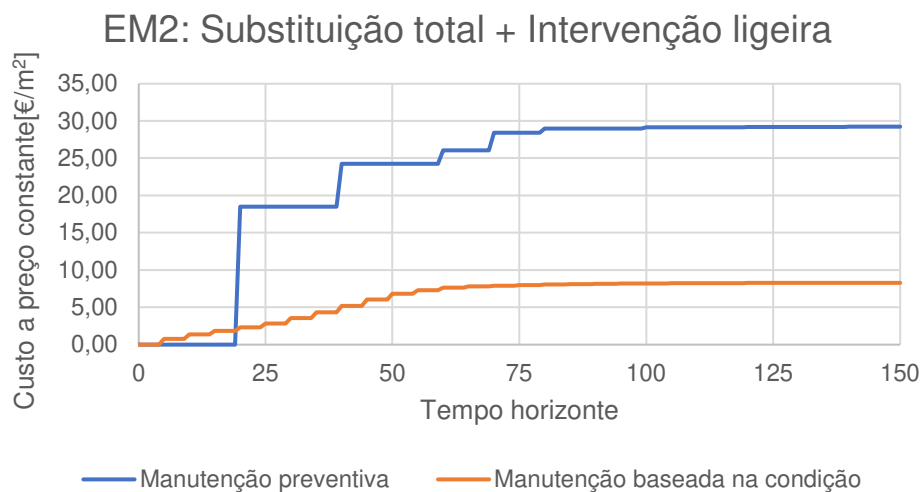


Figura 13 - Estratégia de manutenção 2: comparação dos custos a preço constante (€/m²)

4.2.3 Estratégia de manutenção 3 (EM3)

A estratégia de manutenção 3, compreende as três intervenções, isto é, a substituição total, a intervenção ligeira e operações de limpeza.

Na Figura 14, é apresentada a comparação do impacto das intervenções nos índices de degradação, considerando os dois planos de manutenção propostos. Uma vez mais, a manutenção baseada na condição apresenta um maior número de ressaltos ao longo do tempo horizonte, relativos às inspeções quinquenais. No entanto, este plano de manutenção conduz a uma severidade de degradação inferior a 8% ao longo do tempo horizonte. No caso do plano de manutenção preventiva, foram novamente sobrepostas as curvas das diferentes intervenções, tendo um gráfico com picos mais acentuados. O primeiro pico é referente às operações de limpeza. No ano 20, ocorre a primeira intervenção ligeira, no entanto, quando ocorre a IL não ocorrem OL (uma vez que a IL já inclui as operações de limpeza, e assim, o modelo evita a sobreposição de ações), e assim sucessivamente até se atingir o maior pico que é da substituição total, voltando a atingir-se um S_w igual a zero.

EM3: Substituição total + Intervenção ligeira + Operações de limpeza



Figura 14 - Estratégia de manutenção 3: comparação do S_w

Os custos para a estratégia de manutenção 3 são semelhantes entre os dois planos de manutenção (Figura 15). Apesar de inicialmente os custos do plano com base na condição serem superiores quando comparados com o plano de manutenção preventiva, a longo prazo, verifica-se que os custos do plano de manutenção preventiva são ligeiramente mais elevados.

EM3: Substituição total + Intervenção ligeira + Operações de limpeza

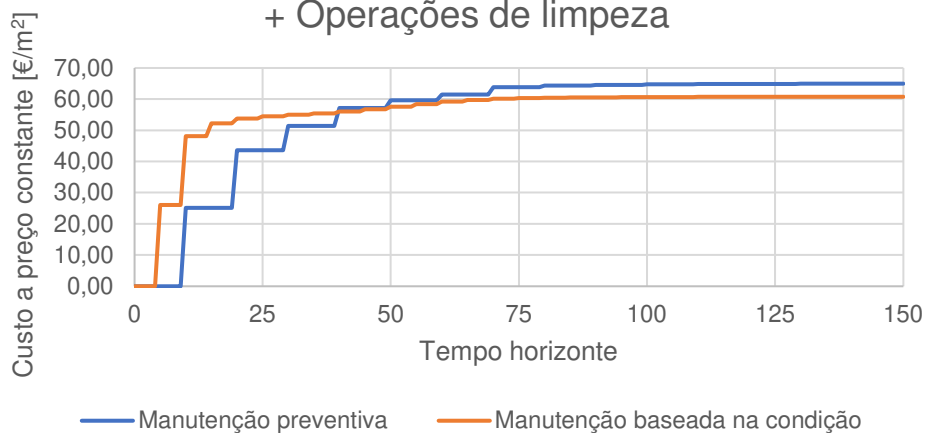


Figura 15 - Estratégia de manutenção 3: comparação dos custos a preço constante (€/m²)

4.2.4 Comparação das três estratégias apresentadas

Para o plano de manutenção com base na condição é possível verificar que a severidade de degradação relativa à estratégia de manutenção 3 torna-se mais constante do que as demais, apesar da curva ser muito parecida à obtida para a EM2. Quanto à EM1, esta apresenta maior variação de S_w , e chega a apresentar um S_w superior a 10%, que corresponde a uma condição de degradação C, enquanto a EM2 e EM3 não chegam aos 8%, relativa a uma condição de degradação B.

O plano de manutenção preventiva, apresenta curvas muito distintas para cada uma das estratégias consideradas. Para a EM1, a curva da severidade de degradação não tem tantos picos, pois apenas

ocorre uma intervenção no ano 70 (substituição total do revestimento), enquanto a EM3 é a curva que apresenta um maior número de picos, devido ao número total de intervenções, sendo realizada uma ação quase a cada dez anos. A curva dos índices de degradação (S_w) revela que a EM1 atinge níveis de degradação mais elevados do que as curvas para a EM2 e EM3, atingindo um S_w de 20% correspondente ao fim da vida útil dos revestimentos em pedra natural, isto deve-se ao facto de não existir qualquer intervenção ao longo de 70 anos, e os revestimentos em pedra natural degradam-se constantemente até à sua substituição total. Quanto às curvas EM2 e EM3 os valores de S_w nunca ultrapassam os 6%, o que corresponde a uma condição de degradação B.

A comparação dos índices de degradação apresentada nas figuras anteriores permite ter uma ideia do índice de eficiência (IE) das diferentes estratégias para os dois planos de manutenção considerados (Tabela 16). Como referido anteriormente, o índice de eficiência (IE) compara a eficiência das estratégias de manutenção realizadas, através da análise do tempo de permanência dos revestimentos em condições mais favoráveis de degradação (ou seja, o índice é tanto maior, quanto maior o tempo em que o revestimento apresenta menores níveis de degradação, ou um melhor estado de conservação, com menos anomalias observadas).

Tabela 17 - Índice de eficiência para cada plano e estratégia de manutenção

	Índice de eficiência	
	Com base na condição	Preventiva
EM1	0,936	0,927
EM2	0,947	0,951
EM3	0,953	0,955

O IE é relativamente próximo para cada uma das estratégias analisadas. Para a estratégia EM1, o plano com base na condição é mais eficiente que o plano de manutenção preventiva. No entanto, para as estratégias EM2 e EM3, o plano de manutenção preventiva tem valores ligeiramente superiores, e por isso é possível dizer que este plano é mais eficiente, visto que são realizadas mais ações o que implica melhorar a condição de degradação dos revestimentos ao longo do tempo horizonte.

Relativamente ao número de intervenções realizadas (Tabela 18), o plano de manutenção preventiva implica sempre a realização de um maior número de ações. Para a estratégia EM2, o plano com base na condição acarreta a realização de 2,6 intervenções (é uma estimativa estocástica, considerando a simulação dos 203 casos de estudo), enquanto o plano de manutenção preventiva implica a realização de 8 intervenções. O mesmo acontece para a estratégia EM3, onde o plano de manutenção preventiva implica a realização de um maior número de ações o que acarreta maiores custos e um maior número de situações onde se interfere na normal utilização do edifício (por exemplo, condicionamento dos acessos devido à colocação de andaimes).

Tabela 18 - Número de intervenções para cada plano e estratégia de manutenção (ST-Substituição Total; IL- intervenção ligeira; OL- Operações de limpeza)

	Número de intervenções					
	Com base na condição			Preventiva		
	ST	IL	OL	ST	IL	OL
EM1	1,7	-	-	2	-	-
EM2	0,5	2,1	-	2	6	-
EM3	0,3	2	5,6	2	6	7

Relativamente aos custos das diferentes estratégias (Tabela 19), na estratégia EM1, os custos do plano com base na condição são muito superiores aos custos do plano de manutenção preventiva, pois além da substituição do revestimento, são ainda contemplados os custos das inspeções realizadas a cada cinco anos. No plano de manutenção preventiva, o único custo é o da substituição do revestimento em pedra natural e, a longo prazo, tem um custo mais reduzido quando comparado com o plano de manutenção com base na condição. Na estratégia EM2, o custo da manutenção preventiva é muito superior ao custo da manutenção com base na condição, uma vez que a realização de ações regulares com periodicidades fixas acarreta a realização de um maior número de ações, que se revelam desnecessárias quando se avalia a condição dos revestimentos através de inspeções (tal como sucede na manutenção condicionada). Na última estratégia, EM3, no plano de manutenção com base na condição, as operações de limpeza são realizadas sempre que o revestimento se encontra na condição B de degradação; por outro lado, na manutenção preventiva, as ações têm periodicidade fixa, mas com o aumento do número de ações, o custo a longo prazo das duas estratégias é aproximado.

Tabela 19 – Custos a preço constante (€/m²) para cada plano e estratégia de manutenção

	Custo a preço constante	
	Com base na condição (€/m ²)	Preventiva (€/m ²)
EM1	5,79	2,40
EM2	8,27	29,22
EM3	60,78	64,98

Por fim, no que diz respeito ao tempo de vida útil dos revestimentos em pedra natural quando sujeitos a ações de manutenção (Tabela 20), no plano de manutenção preventiva, a vida útil para cada uma das estratégias é de 70 anos, uma vez que se assume um valor fixo, a partir do qual é necessário proceder à substituição dos revestimentos. Por outro lado, na manutenção com base na condição, o modelo usado, baseado nas redes de Petri [16,42], permite avaliar o impacto das ações de manutenção na vida útil dos revestimentos. Ou seja, sempre que é realizada uma ação, verifica-se se o revestimento se mantém na mesma condição ou se melhora a sua condição de degradação, modelando-se a sua evolução da degradação a partir daquele instante. As ações realizadas tendem a aumentar a vida útil dos revestimentos em pedra natural, e o modelo de manutenção baseado na condição permite determinar esse acréscimo de vida útil, que é apresentado na Tabela 19. Portanto, as vidas úteis

estimadas, quando se adotam as estratégias EM2 e EM3, são mais elevadas, devido às intervenções realizadas sobre os revestimentos em pedra natural.

Tabela 20 - Tempo de vida útil (anos) para cada plano e estratégia de manutenção

	Tempo de vida útil	
	Com base na condição (anos)	Preventiva (anos)
EM1	70	70
EM2	148	70
EM3	177	70

4.3 Otimização do plano de manutenção preventiva com base na modelação de dados históricos

O plano de manutenção baseado na condição, como referido anteriormente, considera a degradação de 203 revestimentos em pedra natural. Estes casos de estudo apresentam diferentes idades e características, assim como diferentes estados de degradação. Estes dados permitem perceber como a realização de determinadas ações influencia a condição de degradação dos revestimentos.

A partir dos resultados obtidos na análise comparativa entre o plano de manutenção preventiva e o plano de manutenção com base na condição, é possível otimizar o plano de manutenção preventiva apresentado anteriormente.

Em termos de estratégias de manutenção, opta-se pela estratégia de manutenção 2. Quando se compara o índice de eficiência versus os custos de manutenção das estratégias 2 e 3, verifica-se que a estratégia 3 apresenta um custo significativamente mais elevado (Tabela 19) quando comparada com a estratégia 2, e que o índice de eficiência das duas estratégias é praticamente idêntico (Tabela 17). Isto demonstra que, provavelmente, a estratégia 3 implica algumas operações desnecessárias ao longo do tempo horizonte. Por outro lado, na estratégia de manutenção 2, a intervenção ligeira já engloba as operações de limpeza, e a realização em simultâneo das duas ações reduz os custos do plano, uma vez que otimiza os custos relativos à colocação de andaimes.

Na estratégia de manutenção 2, no plano com base na condição, obteve-se uma vida útil é de 148 anos. Assim sendo, no plano de manutenção preventiva otimizado adota-se um valor semelhante (mais conservativo), ou seja, adota-se um valor de vida útil estimada de 140 anos para os revestimentos em pedra natural, uma vez que os dados históricos indicam que os revestimentos aumentam a sua vida útil quando sujeitos às operações de manutenção consideradas na estratégia 2. Quanto ao número de intervenções, estas foram reduzidas, dado que o plano de manutenção com base na condição revelava que o plano de manutenção preventiva incluía ações desnecessárias, que aumentavam significativamente o custo do plano sem que se verificasse um aumento igualmente significativo no seu índice de eficiência. Deste modo, considera-se que as intervenções ligeiras deverão ser realizadas a cada 35 anos, e que, no fim da vida útil dos revestimentos, aos 140 anos, deverá ser realizada a sua substituição total.

Tabela 21 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: vida útil e número de intervenções

Estratégia de manutenção 2 - EM2					
Tempo de vida útil		Número de intervenções			
Com base na condição (anos)	Preventiva (anos)	Com base na condição		Preventiva	
		ST	IL	ST	IL
148	140	0,5	2,1	1	3

A Figura 16 compara o plano de manutenção com base na condição e o plano de manutenção preventiva relativamente à severidade de degradação (S_w) dos revestimentos. O S_w do plano de manutenção preventiva é ligeiramente superior ao do plano com base na condição. No plano de manutenção preventiva, os revestimentos encontram-se, na maioria do tempo, na condição de degradação *B*, salvo em três períodos, imediatamente antes das intervenções ligeiras no ano 70 e ano 105 e na substituição total no ano 140, que se encontram na condição de degradação *C*. No plano de manutenção com base na condição, os revestimentos permanecem sempre na condição de degradação *B*.

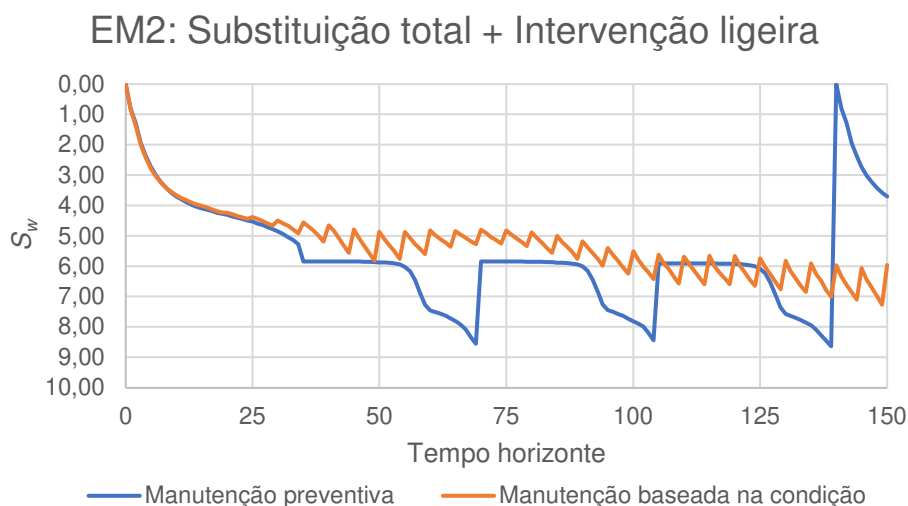


Figura 16 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação do S_w

Na Figura 17 apresenta-se a comparação dos custos da estratégia otimizada com o plano baseado na condição. Inicialmente, para o plano de manutenção preventiva, o custo é nulo, durante os primeiros 35 anos. No ano 35, realiza-se a primeira intervenção ligeira, que volta a ocorrer no ano 70 e 105 (estas ações são assinaladas na figura pelos patamares que indicam a melhoria da condição de degradação dos revestimentos sempre que ocorre uma intervenção). O plano de manutenção com base na condição apresenta um maior número de patamares de custos, uma vez que ocorrem inspeções a cada 5 anos, e intervenções estão “diluídas” ao longo do tempo horizonte, porque são realizadas após as inspeções, não tendo uma periodicidade fixa para ocorrer.

A partir do gráfico dos custos também é possível verificar que o custo médio acumulado é muito semelhante (Tabela 22). A semelhança entre os custos dos dois planos deve-se ao número de intervenções, mas também ao custo das inspeções. Apesar de o plano de manutenção com base na condição ter no total uma média de 2,6 intervenções, este plano inclui inspeções a cada cinco anos,

com um custo de 1,03 €/m², que aumenta o custo acumulado, mesmo que o plano de manutenção preventiva tenha mais intervenções (quatro, no total).

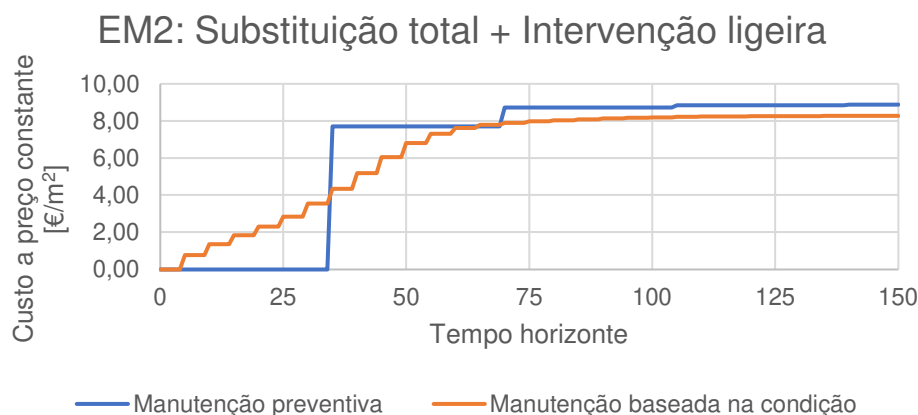


Figura 17- Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação dos custos a preço constante (€/m²)

Tabela 22 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação dos custos a preço constante (€/m²)

Estratégia de manutenção 2 - EM2	
Custo a preço constante	
Com base na condição (anos)	Preventiva (anos)
8,27	8,88

Quanto ao índice de eficiência (*IE*), obtêm-se valores muito semelhantes, sendo que o plano com base na condição tem um *IE* superior ao plano de manutenção preventiva. As ligeiras diferenças devem-se à condição de degradação que, por vezes, no plano de manutenção preventiva, passa para a condição C, enquanto no plano com base na condição mantém-se sempre na condição B.

Tabela 23 - Estratégia de manutenção 2 otimizada: comparação do índice de eficiência

Estratégia de manutenção 2 - EM2	
Índice de eficiência	
Com base na condição	Preventiva
0,947	0,944

Considera-se que esta nova modelação permite otimizar o plano de manutenção preventiva, maximizando o tempo de vida útil do revestimento em pedra natural, em condições de degradação aceitáveis, sem números excessivos de intervenções de manutenção, mas também sem a necessidade de efetuar periodicamente inspeções.

4.4 Síntese do capítulo

No capítulo 4, foi efetuada a modelação de três estratégias de manutenção: i) a estratégia de manutenção 1, que apenas inclui a substituição total do revestimento, no fim da sua vida útil; ii) a estratégia de manutenção 2, com intervenção ligeira e a substituição total; iii) e, finalmente, a estratégia de manutenção 3, com operações de limpeza, intervenção ligeira e substituição total da pedra natural.

O impacto das ações de manutenção foi modelado com base numa abordagem estocástica, baseada numa distribuição de Weibull, que faz parte de um projeto de investigação a decorrer no Instituto Superior Técnico. A modelação não faz parte do âmbito da presente dissertação. Foi apenas usada a metodologia para obter os resultados apresentados neste capítulo, remetendo-se a explicação detalhada do modelo para as referências bibliográficas onde este é explicado em detalhe.

Foi modelado o plano de manutenção preventiva definido no capítulo anterior e comparou-se os resultados obtidos com um plano de manutenção com base na condição. Esta comparação permite aferir qual a abordagem mais racional, em termos de custos (€/m²), mas também a nível da severidade de degradação (S_w) ou condição de degradação ao longo do tempo (IE), e do número de intervenções necessárias (que tem implicações económicas, mas também ambientais, e a nível do normal funcionamento e utilização dos edifícios).

Com base no plano de manutenção baseado na condição, que tem por base dados históricos sobre a degradação de 203 revestimentos em pedra natural, procede-se à otimização do plano de manutenção preventiva. Para isso, adota-se a estratégia de manutenção 2, que permite um balanço mais racional em termos de custos e de eficiência das ações ao longo do tempo horizonte. O plano otimizado considera um menor número de intervenções e considera o aumento da vida útil dos revestimentos em pedra natural. Os resultados obtidos na segunda modelação são satisfatórios, pois aproximaram-se do plano de manutenção com base na condição, sem que haja a necessidade de inspeção aos revestimentos, revelando custos e eficiências muito semelhantes, com um menor número de recursos especializados. A partir da análise feita aos resultados obtidos, é possível fazer uma escolha sobre qual o plano de manutenção a escolher, sendo que esta escolha depende sempre do gestor de edifício.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões finais

Não tem sido dado o ênfase e importância necessária à manutenção dos edifícios e dos seus componentes, quer por desconhecimento ou por falta de ferramentas expeditas para a gestão da manutenção, mas também pelo custo direto das ações necessárias. Os custos de manutenção tendem a limitar a aplicação das ações, no entanto, a aplicação destas ações tende a ser uma mais-valia a longo prazo, dado que aumentam a vida útil e durabilidade das construções, reduzindo o número de substituições necessárias, conduzindo a custos que podem ser globalmente mais reduzidos, na medida em que se otimizam fundos e recursos. Atualmente, o tema da manutenção é cada vez mais relevante, e tem sido cada vez mais posta em prática nos novos edifícios. Esta consciencialização deve-se muito às intuições de investigação e universidades que ajudam a entender e demonstrar a importância das boas práticas de manutenção e do seu impacto na durabilidade e sustentabilidade do sector da construção.

Todos os edifícios necessitam de intervenções de manutenção ao longo do seu ciclo de vida, quer seja de uma forma mais ligeira ou mais profunda. Os planos de manutenção, nos quais estão estipuladas as intervenções de manutenção e a sua periodicidade, estão cada vez mais presentes em edifícios recentes. As ações de manutenção ajudam no acréscimo da vida útil dos materiais, mas também, a longo prazo, ajudam a reduzir custos elevados que podem ser evitados com estas ações que se revelam essenciais na vida útil dos materiais. A manutenção também tem como objetivo garantir os requisitos mínimos para a continuação da utilização dos edifícios em condições adequadas de segurança e desempenho.

Para que as ações de manutenção sejam realizadas de forma adequada e no instante certo é importante alertar os proprietários/gestores de edifício da sua importância, tanto a nível de custo como do seu impacto na durabilidade do material. Será sobre estes temas que esta dissertação se irá essencialmente debruçar.

Em primeiro lugar, a presente dissertação propõe um plano de manutenção preventiva para revestimentos em pedra natural de fachadas. Para tal, foi necessário analisar quais as anomalias mais correntes, as ações mais utilizadas durante a manutenção para a reparação e mitigação das anomalias e causas, e as suas periodicidades, com base na literatura existente. Uma vez definido um plano de manutenção preventiva, foram determinados os custos atuais associados a cada uma das ações. Com base nestes dados, realizou-se uma análise de sensibilidade, que incidiu, em primeiro lugar, sobre o período de estudo e, depois, sobre as taxas de atualização.

O plano de manutenção preventiva foi comparado com um plano de manutenção baseado a condição. Esta comparação incidiu sobre o índice de severidade da degradação (S_w) e o custo ao longo do tempo horizonte que se admitiu ser de 150 anos (garantindo assim que o revestimento é alvo de uma substituição, pelo menos uma vez, durante esse período). Finalmente, com base nesta comparação, foi possível otimizar o plano de manutenção preventiva inicialmente proposto.

Em suma, este trabalho propõe uma estratégia de manutenção que não é puramente preventiva, mas que é otimizada com base em dados históricos de inspeções a 203 revestimentos em pedra natural, e que permite criar uma estratégia/plano de manutenção que minimiza os custos, maximizando o desempenho do revestimento, retirando os custos das inspeções, pois já se conhece, com base no plano de manutenção com base na condição, os momentos ideais para intervir.

Este trabalho permite identificar os pontos positivos e negativos do plano de manutenção preventiva e do plano de manutenção com base na condição. A vantagem do plano de manutenção preventiva é que é possível conhecer os custos associados às intervenções e quando as mesmas serão realizadas. As inspeções periódicas já não serão incluídas no plano de manutenção preventiva otimizado, dado que este plano é definido com base na informação que consta do plano de manutenção baseado na condição, sendo que este plano é baseado em casos reais, o que conduz a que o plano de manutenção otimizado, apesar de teórico, também seja muito aproximado da realidade. Assim sendo, o plano de manutenção preventiva proposto constitui um grande apoio para a gestão dos revestimentos em pedra natural.

Esta dissertação pode ser uma mais-valia para auxiliar os gestores dos edifícios a seleccionar o plano de manutenção e a estratégias mais adequadas, pois a escolha irá depender dos requisitos do decisor que está à frente da gestão do edifício, apesar de o plano de manutenção preventiva otimizado proposto permitir uma gestão mais informada dos custos e ações envolvidas. O fator de risco também é um ponto fundamental na manutenção, neste caso pode existir queda do elemento de revestimento de pedra natural e isso é um risco público, por isso a manutenção tem de ter este aspeto em consideração para além dos custos.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Os planos de manutenção revelam-se essenciais para o desempenho adequado de um edifício. O plano de manutenção preventiva é um grande apoio, pois ajuda os gestores do edifício a saber quando intervir e o tipo de manutenção a realizar. Apesar de esta dissertação se debruçar unicamente sobre os revestimentos em pedra natural, que representa uma pequena parte dos revestimentos de fachada, também é possível alargar a qualquer outro tipo de revestimento e propor um plano de manutenção preventiva com base em dados reais e assim existir uma base de dados para as manutenções dos diversos elementos em fachada.

Existem alguns desenvolvimentos futuros que podem promover a adoção de estratégias de manutenção adequadas e executadas com um maior rigor:

- 1) Como mencionado acima, a metodologia proposta no presente trabalho pode ser alargada a qualquer outro tipo de revestimento ou até mesmo a qualquer outro elemento fonte de manutenção, tendo sempre como base informação sobre os processos de degradação dos materiais e componentes, com base na recolha de dados reais;
- 2) Desenvolver uma base de dados no qual o edifício está dividido em diferentes pontos como por exemplo, fachada e cobertura, e os mesmos estarem subdivididos em fachada vertical/horizontal, entre outros, os quais estão associados às manutenções recorrentes, os custos das mesmas e quando devem ser executadas;

- 3) A partir de esta base de dados, pode ser desenvolvido um programa informático que consiga determinar os custos associados a cada uma das ações de manutenção aplicáveis a cada um dos elementos fonte de manutenção e, deste modo, conseguir aplicar, de forma simples, este conhecimento para a definição de estratégias e planos de manutenção, considerando o edifício como um todo, permitindo que qualquer gestor tenha acesso a informação sobre os custos que advém das ações de manutenção ao longo dos anos;
- 4) O presente estudo foi aplicado a revestimentos em pedra natural em edifícios correntes. No entanto, a metodologia proposta pode ser alargada a edifícios com outras características, como por exemplo, unidades fabris ou hospitais, onde é extremamente relevante a aplicação de ações de manutenção, tendo em consideração, principalmente, as condições de segurança mediante o tipo de atividade que possa ocorrer no edifício em análise.

O presente trabalho visa assim contribuir com uma metodologia para a definição de planos de manutenção, constituindo uma mais-valia e apoio na tomada de decisão. Este estudo pode ser útil para gestores de edifícios, dando algumas informações sobre os diferentes planos de manutenção que podem ser adotados e o impacto desses planos na durabilidade, vida útil, desempenho e eficiência, assim como nos custos do ciclo de vida de edifícios e componentes. Com base neste estudo, os gestores podem selecionar uma determinada estratégia e plano, optando por um plano baseado na condição das edificações, que não apresente periodicidades fixas de manutenção, e seja baseado em inspeções, ou por um plano de manutenção preventiva, onde as periodicidades das ações de manutenção são fixas, permitindo antecipar os custos de manutenção.

Referências bibliográficas

- [1] Pedra & Cal (2003). Erros e Defeitos na Reabilitação dos Edifícios e na Conservação e Restauro do Património Edificado, nº20, Lisboa, GECORPA.
- [2] Flores-Colen, I. (2002). Estratégias de manutenção- Elementos da envolvente de edifícios corrente, Dissertação de Mestrado em Construção, IST, Lisboa.
- [3] H. Seely, Ivor. (1987). Building Maintenance (Second Edition), New York, PALGRAVE.
- [4] Prata, Hugo. (2014). Manual de Manutenção de Edifícios- Guia Prático, Portugal, Publindústria.
- [5] Horner, R.M.W., El-Haram, M.A. e Munns, A.K. (1997). Building maintenance strategy: a new management approach, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol.3 Nª4, 273-280. doi : 10.1108/13552519710176881
- [6] Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2002). Estratégia de Manutenção em Fachadas de Edifícios, Revista Engenharia Civil, Número 4
- [7] Cruzan, Ryan. (2009). Manager's Guide to Preventive Building Maintenance, Lilburn, The Fairmont Press.
- [8] Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2001). Manutenção de edifícios correntes- Estado actual do conhecimento, Congresso de Construção.
- [9] Madureira, S., Flores-Colen, I., de Brito, J., & Pereira, C. (2017). Maintenance planning of facades in current buildings. Construction and Building Materials, 147, 790–802. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.195
- [10] Mousavi, S. H., Silva, A., de Brito, J., Ekhlassi, A. e Hosseini , S. B. (2017). Service Life Prediction of Natural Stone Claddings with an Indirect Fastening System, Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol.31 Nª4, doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001007
- [11] Puçite, I., & Geipele, I. (2017). Different Approaches to Building Management and Maintenance Meaning Explanation. Procedia Engineering, 172, 905–912. doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.099
- [12] Chen, C., & Tang, L. (2019). BIM-based integrated management workflow design for schedule and cost planning of building fabric maintenance. Automation in Construction, 107, 102944. doi: 10.1016/j.autcon.2019.102944
- [13] Bryson, J.R. (1997) Obsolescence and the Process of Creative Reconstruction. Urban Studies, 34(9) : 1439-1458. doi: 10.1080/0042098975501
- [14] Sherwin, D. (2000). A review of overall models for maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 6(3), 138–164. doi:10.1108/13552510010341171

- [15] Allen, David. (1993). What Is Building Maintenance?, Facilities, Vol. 11 Nº 3, 7-12. doi: 10.1108/EUM0000000002230
- [16] Ferreira, C., Silva, A., Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2019). Definição de planos de manutenção, baseados em modelos de previsão da vida útil, aplicados aos elementos da envolvente dos edifícios: Definições e nomenclatura relativas à manutenção das construções. Relatório de Novembro de 2018. Projeto Fundação para a Ciência e a Tecnologia.
- [17] ISO (International Organization for Standardization) (2011). ISO 15686-1:2011 : Buildings and constructed assets- Service-life planning- Part 1: General principles and framework, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-1:ed-2:v1:en> , acessado a 3 de Maio de 2020.
- [18] Leite, C. (2009). Estrutura de um plano de manutenção de edifícios habitacionais, Dissertação de Mestrado em Construção, FEUP, Porto.
- [19] Flores-Colen I.,Madureira S., Morgado J e de Brito J., (2015). Planos de Manutenção pró-ativa da envolvente de edifícios, TECH ITT- Estruturas e Construção.
- [20] Silva A., de Brito Jorge, Gaspar P. Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate). Construction and Building Materials 25(9): 3674-3684, 2011.
- [21] Silva A., de Brito J., Gaspar P. Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings. Springer International Publishing, May 2016.
- [22] De Brito, J. e Lima Neto, N. M. (2009) Análise de anomalias e técnicas de reparação em 128 casos de revestimentos em pedra natural, 3º Encontro sobre Patologia em Reabilitação de edifícios.
- [23] Flores-Colen, I. e De Brito, J. (2003). Anomalias em fachadas de edifícios correntes, 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de edifícios.
- [24] Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Dias, I.S., Flores- Colen,I. (2020) The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings envelope components, Journal of Building Engineering doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101571
- [25] BSI : Standards Publication (2012). Guide to facilities maintenance management, BS 8210, British Standard.
- [26] Veritas, B. (1993). Gestion Technique du Patrimoine Réhabilitation et Maintenance, Guide Veritas du Bâtiment. 3 éd. Paris: Editions du Le Moniteur, 4: 463p.
- [27] O'Connor, J. (2004). Survey on actual service lives for North American buildings, Presented at Woodframe Housing Durability and Disaster Issues conference, Las Vegas, October 2004.

- [28] Flores-Colen, I. (2009). Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, IST, Lisboa.
- [29] Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2002). Building façade maintenance support system, World Congress on Housing.
- [30] De Brito, J. e A. Branco, F. (2001). Manutenção Pró-activa de Obras de Arte, Revista Ingenium, 2^a.
- [31] Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2010). A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategie, Construction and Building Materials, Vol.24 N^o9, 1718-1729, doi : 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.017
- [32] International Organization for Sandardization. (2008). ISO 15686-5 : 2008 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5 : Life cycle costing
- [33] ISO (International Organization for Standardization) (2008). ISO 15686-5:2008 : Buildings and constructed assets- Service-life planning- Part 5: Life-cycle costing, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15686:-5:ed-1:v1:en>, acedido a 14 de Maio de 2020.
- [34] Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R., Aouad, G., Bakis, N. and Sun, M. (2003) Whole life costing in construction- A state of the art review, RICS Foundation, Vol.4 N^o18.
- [35] Tzanakakis, K. (2013). LCC and WLC (Whole Life Costing), The Railway Track and Its Long Term Behaviour, 305-306, doi: 10.1007/978-3-642-36051-0_40
- [36] Langdon, D. (2007). Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction, Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement, [S.I]
- [37] Neto, N., e de Brito, J. (2011). Inspection and Defect Diagnosis System for Natural Stone Cladding. Journal of Materials in Civil Engineering, 23(10), 1433–1443. doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000314
- [38] HAPM- Component life manual (1999). CD-Rom, HAPM Publications Ltd, London.
- [39] Neto N., de Brito J. Inspection and Defect Diagnosis System for Natural Stone Cladding. Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 23 Issue 10 - October 2011, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000314](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000314)
- [40] Younga, M. E., Urquhartb, D.C.M. e Lainga, R.A (2003). Maintenance and repair issues for stone cleaned sandstone and granite building facades, Building and Environment, 38, 1125-1131, doi: 10.1016/S0360-1323(03)00084-2
- [41] Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Dias, I. S., & Flores-Colen, I. (2020). Definition of a condition-based model for natural stone claddings. Journal of Building Engineering, 101643. doi:10.1016/j.job.2020.101643

- [42] Ferreira, C., Silva, A., Flores-Colen, I. e de Brito, J. (2019). Definição de planos de manutenção, baseados em modelos de previsão da vida útil, aplicados aos elementos da envolvente dos edifícios: Modelação da degradação dos revestimentos em pedra natural, com recurso às redes de Petri. Relatório Junho de 2019. Projeto Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

ANEXO 1-

Plano de manutenção preventiva

Código	Ações	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
A1	Inspeção		x					x			
A2	Limpeza										x
A3	Tratamento de proteção- hidrófugo										x
A4	Intervenção ligeira										
A4.1	Jato de água e biocida										
A4.2	Reparação de juntas										
A4.3	Substituição da pedra										
A4.4	Reparação de fissuras : abertura média										
A4.5	Reparação de fissuras : abertura grande										
A4.6	Consolidante										
A5	Substituição total										

Código	Ações	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
A1	Inspeção		x					x			
A2	Limpeza										x
A3	Tratamento de proteção- hidrófugo										x
A4	Intervenção ligeira										
A4.1	Jato de água e biocida										
A4.2	Reparação de juntas										
A4.3	Substituição da pedra										
A4.4	Reparação de fissuras : abertura média										
A4.5	Reparação de fissuras : abertura grande										
A4.6	Consolidante										
A5	Substituição total										

Código	Ações	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25	Ano 26	Ano 27	Ano 28	Ano 29	Ano 30
A1	Inspeção		x					x			
A2	Limpeza		x								x
A3	Tratamento de proteção- hidrófugo										x
A4	Intervenção ligeira		x								
A4.1	Jato de água e biocida		x								
A4.2	Reparação de juntas		x								
A4.3	Substituição da pedra		x								
A4.4	Reparação de fissuras : abertura média		x								
A4.5	Reparação de fissuras : abertura grande		x								
A4.6	Consolidante		x								
A5	Substituição total										

ANEXO 2-

Apresentação da tabela com os custos associados nos primeiros 30 anos (Exemplo dos cenários apresentados)

30 ANOS								
anos	inspeção (€/m ²)	limpeza (€/m ²)	hidrófugo (€/m ²)	reparação e substituição pontual (€/m ²)	substituição total (€/m ²)	Valor a preços correntes (€/m ²)	VA LCC (€/m ²)	VAE LCC (€/m ²)
1							219,31	7,31
2	1,03					1,03		
3								
4								
5								
6								
7	1,03	45,01	4,71			50,75		
8								
9								
10								
11								
12	1,03					1,03		
13								
14								
15								
16								
17	1,03	45,01	4,71			50,75		
18								
19								
20								
21								
22	1,03		4,71	59,25		64,99		
23								
24								
25								
26								
27	1,03	45,01	4,71			50,75		
28								
29								
30								