

**Proposta de modelo para a gestão das caixilharias de madeira do  
Palácio Nacional de Sintra**

**Alexandre da Silva Baltazar**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**

Orientador: Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Orientador: Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereira

**Júri**

Presidente: Professor Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Vogal: Professor Doutor Carlos Paulo Oliveira da Silva Cruz

**Novembro de 2016**



## Agradecimentos

Em primeiro lugar, queria expressar o meu agradecimento e reconhecimento aos meus orientadores, Professor Doutor Vítor Faria e Sousa e Professor Doutor Fernando José Telmo Dias Pereira, pela disponibilidade, colaboração, empenho, críticas e transmissão de conhecimento ao longo da realização da presente dissertação sem os quais não seria possível a sua realização.

À Direção dos Parques de Sintra-Monte da Lua, S.A., em especial ao Dr. Carlos A. M. Marques, agradeço pela possibilidade que me foi proporcionada para realizar o levantamento das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra para elaboração deste trabalho e pela informação e conhecimento transmitida durante as visitas. Gostaria também de agradecer à Sr<sup>a</sup>. Graça pela paciência e disponibilidade de me guiar pelo Palácio mostrando-me todas as suas divisões.

Agradeço a todos os familiares e amigos, em especial à minha mãe e irmão, por todo o apoio, incentivo e paciência durante todo o meu percurso académico. Agradeço também à minha namorada Inês pelos votos de confiança e pela coragem transmitida.



## Resumo

A gestão de ativos físicos é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão através de um sistema integrado de múltiplos fatores como por exemplo, o desempenho, os custos, a sustentabilidade e o risco. A sua aplicação em património edificado ajuda a organizar e a estruturar um planeamento de manutenção e reabilitação das suas componentes com base nos requisitos de desempenho desejados, ao longo do seu ciclo de vida.

O principal objetivo desta dissertação é elaborar um plano de empreitadas de reabilitação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra, tendo em consideração o seu desempenho a mecanismos de deterioração e os custos das futuras intervenções. Porém, devido à existência de diversos mecanismos de degradação torna-se extremamente complexa a previsão do estado de degradação dos vãos ao longo do tempo.

A avaliação da degradação tem como base o trabalho elaborado por Sousa, Pereira, e Meireles (2015), onde se apresenta um modelo de degradação em função da ação da radiação solar, da influência da precipitação, da orientação solar e da idade da última intervenção. Este modelo tem em consideração as caixilharias reabilitadas durante as intervenções de 2003 e uma inspeção realizada em 2013. Em Dezembro de 2015, fez-se um novo levantamento do estado de degradação das caixilharias e ajustou-se o modelo de degradação à nova base de dados. A informação relativa aos custos, materiais e técnicas de manutenção foi recolhida através da empreitada de reabilitação dos vãos do Palácio em 2003.

Por fim, apresentaram-se estratégias de manutenção das caixilharias e comparou-se a sua rentabilidade através da técnica do Custo Anual Equivalente, utilizando duas abordagens diferentes: i) determinística; e ii) estocástica. Através desta técnica pretende-se compreender qual a melhor estratégia para valorizar o dinheiro aplicado na reabilitação das caixilharias do Palácio. Com este estudo conclui-se que a solução mais rentável, e que cumpre todos os requisitos exigidos, tem o seguinte ciclo de intervenções: 9 em 9 anos, para caixilharias situadas em zonas do percurso turístico e zonas VIP; e de 11 em 11 anos para outros locais. No entanto, o ciclo de vida do planeamento das intervenções deve ser integrado num sistema de melhoria contínua sempre que uma nova empreitada seja realizada.

### **Palavras-chave:**

Gestão de ativos físicos de património edificado; Custos do ciclo de vida; Modelos de degradação; Degradação de caixilharias de madeira; Gestão de manutenção de caixilharias de madeira; Palácio Nacional de Sintra.



## Abstract

Asset management is a tool that helps in the decision making with an integrated system which combines multiples factors such as, performance, costs, sustainability and risk. Applying asset management to building heritage helps to organize a maintenance plan for its components through their life cycle based on the requirements imposed.

The main objective in this dissertation is to elaborate a project maintenance plan for the wooden frame doors and windows of National Palace of Sintra considering their performance to degradation mechanisms and futures interventions costs. However, wood has several degradation mechanisms turning its forecast degradation very complex.

The forecast degradation model presented this study was based on a previous work presented by Sousa, Pereira, and Meireles (2015). This model estimates the average condition level of the wood framing elements and was developed to establish a relationship between the radiation in a vertical surface and the wind-driven rain over the age. For the degradation model was considered the interventions of the wood frames doors and windows in 2003 and one inspection in 2013. In 2015 the wood frame doors and windows were inspected again allowing adjusting the degradation model. The information of maintenance costs, materials and proceedings were based on the intervention that took place in 2003.

In the study case of this dissertation were presented strategies for the wooden frame doors and windows maintenance and it was used the equivalent annual cost technique to compare their profitability between two different approaches: i) deterministic approach; and ii) stochastic approach. The equivalent annual cost helps to comprehending which strategy brings more value to the use of the money to invest in wood frames maintenance. In this study case was concluded that the most profitable maintenance solution, that also fulfills all the requirements, has the following cycle: in every 9 years, for the wood frame doors and windows belonging in tourist itinerary or in VIP area; in every 11 years, for the other wooden frames. Yet, the interventions life cycle plan should be integrated in a continuously improve system.

### Keywords:

Asset management; Life cycle costs; Degradation models; Wooden frames doors and windows; Maintenance management; National Palace of Sintra.





# Índice geral

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Índice de tabelas .....	xi
Índice de figuras .....	xiii
Siglas e abreviaturas .....	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo .....	1
1.2. Motivação.....	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. Resumo de conhecimentos.....	5
2.1. Considerações gerais .....	5
2.2. Gestão de ativos físicos .....	5
2.2.1. Definição .....	5
2.2.2. Gestão de ativos físicos em edifícios.....	6
2.3. Análise dos Custos do Ciclo de Vida - ACCV.....	7
2.3.1. Introdução ao Ciclo de Vida .....	7
2.3.2. Enquadramentos dos Custos do Ciclo de Vida.....	8
2.3.3. Categorias de Custos .....	10
2.3.4. Métodos de avaliação financeira .....	12
2.3.5. Risco e incerteza na ACCV .....	15
2.4. Modelos de degradação .....	16
2.4.1. Introdução à durabilidade e degradação .....	16
2.4.2. Modelos de previsão da degradação .....	16
2.4.3. Agentes de degradação .....	20
2.4.4. Influência da manutenção.....	21
2.5. Desempenho de caixilharias de madeira.....	22
2.5.1. Caixilharias de madeira em edifícios.....	22
2.5.2. Madeira e degradação .....	22

2.5.3.	Desempenho da pintura.....	29
2.5.4.	Manutenção e vida útil das caixilharias de madeira .....	31
3.	Metodologia.....	35
3.1.	Abordagem integrada.....	35
3.2.	Estabelecimento do contexto.....	35
3.3.	Previsão da degradação.....	36
3.3.1.	Definição e preparação .....	36
3.3.2.	Recolha dos dados.....	37
3.3.3.	Análise e interpretação de dados.....	38
3.4.	Determinação dos custos .....	38
3.4.1.	Planeamento .....	38
3.4.2.	Projeto.....	39
3.4.3.	Construção .....	41
3.4.4.	Operação e Manutenção.....	42
3.5.	Análise financeira .....	43
4.	Caso de Estudo: estabelecimento do contexto.....	45
4.1.	Palácio Nacional de Sintra .....	45
4.1.1.	Enquadramento geográfico e climático .....	45
4.1.2.	Descrição do Palácio.....	47
4.1.3.	Momentos de construção do Palácio.....	50
4.2.	Caixilharias de madeira do Palácio .....	50
5.	Modelo de gestão das caixilharias de madeira .....	55
5.1.	Levantamento das caixilharias.....	55
5.1.1.	Degradação atual .....	55
5.1.2.	Comparação entre 2013 e 2015.....	59
5.2.	Modelo de degradação.....	60
5.3.	Custos .....	64
5.4.	Aplicação da metodologia proposta .....	65
5.4.1.	Requisitos .....	65
5.4.2.	Estabelecimento do contexto .....	66

5.4.3.	Método de avaliação da melhor proposta .....	67
5.4.4.	Hipóteses de modelos de gestão da manutenção .....	68
5.4.5.	Comparação económica das estratégias de manutenção .....	70
5.4.6.	Análise estocástica do plano da manutenção .....	72
5.4.7.	Melhoria contínua do modelo de gestão .....	76
6.	Considerações finais.....	79
6.1.	Aspetos relevantes e Conclusões .....	79
6.2.	Recomendações e desenvolvimentos futuros .....	80
	Referências bibliográficas .....	81
	Anexos.....	89



## Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Benefícios da ACCV (Langdon 2007).....	10
Tabela 2.2 – Exemplos de modelos de degradação (Tran 2007).....	17
Tabela 2.3 – Exemplos de funções de modelos determinísticos .....	18
Tabela 2.4 – Agentes de degradação dos materiais ou componentes de construção (adaptado da ISO 6241:1984).....	20
Tabela 2.5 – Mecanismos de deterioração da madeira (adaptado de Mirza 2006) .....	25
Tabela 2.6 – Humidade na madeira devido a fenómenos de higroscopicidade (Nero sem data apud Sousa 2003) .....	26
Tabela 2.7 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (adaptado de EN 335-2 2006). .....	26
Tabela 2.8 - Características identificadoras do ataque de caruncho (adaptado de Cruz e Nunes 2012).....	29
Tabela 2.9 – Períodos de manutenção dos esquemas de pinturas das caixilharias de madeira (adaptado de BSI (2013)).....	32
Tabela 3.1 - Classificação de Métodos de Estimativa de Custos (Adaptado de Evans et al. (Sem data), de PMI (2008) e de Turner (2008)).....	40
Tabela 4.1 - Diferenças climatéricas entre Sintra e Lisboa (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica apud Sousa 2003).....	47
Tabela 5.1 – Caracterização das janelas e das portas exteriores do Palácio Nacional de Sintra .....	55
Tabela 5.2 – Degradação geral das caixilharias em 2015.....	55
Tabela 5.3 – Nível de degradação das faces Exterior/Interior .....	56
Tabela 5.4 – Caracterização da face exterior pelas orientações solar .....	57
Tabela 5.5 – Evolução do nível de degradação pelas orientações solar .....	60
Tabela 5.6 - Vida Útil de Referência das portas e janelas exteriores do Palácio Nacional de Sintra .....	61
Tabela 5.7 - $RS_{sv}$ e $DP_v$ para cada orientação ( adaptado de Sousa, Pereira, e Meireles 2015).....	62
Tabela 5.8 – Valores calculados e estimados de nível de degradação nos dois períodos de recolha de informação .....	63
Tabela 5.9 – Comparação dos níveis de degradação em 2013 obtidos pelo modelo de degradação .....	63
Tabela 5.10 – Variação dos preços de intervenção entre 2003 e 2015 .....	65
Tabela 5.11 - Níveis de degradação por zonas de importância .....	67
Tabela 5.12 – Nível de degradação para cada orientação, condicionados por Oeste .....	69
Tabela 5.13 – Nível de degradação para cada orientação do corpo Manuelino, condicionados por Sul .....	69
Tabela 5.14 - Nível de degradação para cada orientação com 5 anos de idade .....	70
Tabela 5.15 - Nível de degradação para cada orientação com 11 anos de idade .....	70
Tabela 5.16 – Distribuição das caixilharias pelas Zonas 1 e 2 e pelos Corpos do Palácio .....	71
Tabela 5.17 - Custos futuros atualizados, no instante t, e CAE das hipóteses apresentadas .....	71
Tabela 5.18 – Níveis de degradação entre os 8 e os 9 anos de idade dos vãos .....	73
Tabela 5.19 - Custos futuros atualizados, no instante t, e CAE das hipóteses 5 e 6 .....	74
Tabela 6.1 – Valores dos CAE para as 5 estratégias apresentadas .....	80



## Índice de figuras

Figura 2.1 - Exemplo de fases sobrepostas da construção de um empreendimento (adaptado de PMI (2008)) ...	8
Figura 2.2 – Evolução dos custos de ciclo de vida totais ao longo do tempo (A. Boussabaine e Kirkham 2004) ...	8
Figura 2.3 - Custos totais do ciclo de vida (adaptado de (ISO 2008c)) .....	11
Figura 2.4 - Custo de desenvolvimento vs Potencial mudança sobre o ciclo de vida dos edifícios (LaSalle, 2008 apud Kovacic e Zoller, 2014) .....	12
Figura 2.5 – Degradação definida ao longo tempo até atingir a probabilidade máxima aceitável (adaptado de Bamforth e Alisa 2003).....	18
Figura 2.6 – Influência da manutenção nos níveis funcionais de um elemento (adaptado de Takata et al. 2004) .....	21
Figura 2.7 – Sequência de eventos durante a degradação da pintura (adaptado de Asif 2002) .....	30
Figura 2.8 – Esquema de pintura com tinta de uma superfície de madeira (Eusébio 2006) .....	31
Figura 3.1 – Diagrama da metodologia da previsão da degradação (adaptado de ISO 2008d).....	36
Figura 3.2 – Análise das diferentes fases dos custos ciclo de vida (adaptado de ISO 2008a).....	38
Figura 3.3 – Requisitos ao longo do ciclo de vida (adaptado de ISO 2008a).....	39
Figura 3.4 – Custos associados à obra (Sousa 2012) .....	41
Figura 4.1 – Palácio Nacional de Sintra .....	45
Figura 4.2 - Localização do Palácio Nacional de Sintra (retirado do Google Earth) .....	46
Figura 4.3 – Corpo Joanino.....	48
Figura 4.4 – Ala Manuelina .....	49
Figura 4.5 – Sala dos Brasões .....	49
Figura 4.6 – Fachada Oeste .....	50
Figura 4.7 – Exemplos de nível de degradação 0 .....	51
Figura 4.8 - Exemplos de nível de degradação 1 .....	52
Figura 4.9 - Exemplos de nível de degradação 2 .....	52
Figura 4.10 - Exemplos de nível de degradação 3 .....	52
Figura 4.11 - Exemplos de nível de degradação 4 .....	53
Figura 5.1 - Condição da face exterior das caixilharias observadas em 2015 .....	56
Figura 5.2 – Exemplo de caixilharia sem intervenção recente (esquerda) e com sinais de intervenção recente (direita) .....	57
Figura 5.3 - Gráfico de Percentagens Absolutas dos elementos abrigados e não abrigados.....	58
Figura 5.4 - Gráfico de Percentagens Absolutas .....	58
Figura 5.5 - Gráfico de Percentagens Relativas.....	59
Figura 5.6 – Gráficos que caracterizam o estado das caixilharias em 2013 (esquerda) e em 2015 (direita) .....	60
Figura 5.7 - Evolução do ND das caixilharias .....	60
Figura 5.8 – Gráficos das curvas de degradação: a) Este; b) Sul; c) Norte; d) Oeste; e) Global .....	61
Figura 5.9 – Gráficos da evolução dos custos de reparação por nível de degradação .....	64
Figura 5.10 – Gráfico esquemático das condições limites para a Zona 1 e Zona 2 .....	69

Figura 5.11 – Planeamento das intervenções da estratégia 2 .....	72
Figura 5.12- Distribuição de probabilidades (beta-PERT) dos custos de reparação das caixilharias para 8 e 9 anos, para Este .....	72
Figura 5.13 – Comparação dos CAE entre os 5 e os 11 anos de idade: a) análise estocástica; b) análise determinística .....	73
Figura 5.14 – Distribuição de probabilidades dos CAE para cada orientação solar .....	75
Figura 5.15 – Valor dos CAE da estratégia 2 para um nível de certeza de 85%, para cada orientação .....	75
Figura 5.16 – Ciclo de vida da manutenção das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra .....	76



## Siglas e abreviaturas

ACCV – Análise do Custo do Ciclo de Vida;

CCV – Custo do Ciclo de Vida;

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;

PPP – Parceria Pública-Privada;

CAE – Custo Anual Equivalente;

VAL – Valor Atualizado Líquido;

TIR – Taxa Interna de Rendibilidade;

PR – Período de Retorno;

RCB – Rácio Custo-Benifício;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

MO – Custo de Mão-de-Obra;

MT – Custo dos Materiais;

EQ – Custo dos Equipamentos;

U – Humidade Relativa do Ar

T – Temperatura;

R – Precipitação;

IC – Intervalo de Confiança;

VUR – Vida Útil de Referência;

$RS_{SV}$  – Radiação Solar numa Superfície Vertical;

$PD_v$  – Direção da Precipitação sob influência do Vento;

NMD - Nível Médio de Degradação;

ICCHN – Índice de Custo de Construção de Habitação Nova;

IPMRRH – Índice de Preços de Manutenção e Reparação Regular de Habitação;

AMC – Área Média de Caixilharia.



# 1. Introdução

## 1.1. Objetivo

Com o presente estudo pretende-se elaborar um modelo de gestão da manutenção das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra, tendo como principal objetivo criar uma rotina otimizada de intervenções planeadas das portas e janelas exteriores. Através deste modelo consegue-se monitorizar a degradação dos vãos das diversas zonas do Palácio e também avaliar os orçamentos das propostas das empreitadas de futuras reabilitações.

A presente dissertação pretende contribuir para um objetivo mais alargado que é a implementação da gestão de ativos físicos ao património edificado, sendo materializado através de uma metodologia que serve de apoio à decisão de intervenções em materiais ou componentes do edificado. Através da metodologia proposta pretende-se desenvolver os seguintes aspetos:

- uma base de dados com atributos que caracterizam as caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra;
- um modelo de degradação das caixilharias de madeira tendo em consideração os fatores de deterioração;
- estratégias de manutenção dos vãos de madeira exteriores através de uma análise financeira;
- um modelo de melhoria contínua do modelo de deterioração e da estratégia de manutenção ótima.

## 1.2. Motivação

As caixilharias exteriores de madeira do Palácio Nacional de Sintra foram selecionadas para o caso de estudo para a implementação da metodologia proposta, dando continuidade aos trabalhos desenvolvidos na classificação das anomalias (Sousa 2003) e modelação da degradação (Sousa, Pereira, e Meireles 2015), através da sua integração numa ferramenta de apoio à decisão para a sua gestão tendo em consideração os custos do ciclo de vida.

A classificação das anomalias em caixilharias de madeira que será usada na presente dissertação foi desenvolvida durante a empreitada de manutenção e reabilitação de caixilharias de madeira ocorrida no Palácio Nacional de Sintra durante os anos de 2002 e 2003. Os trabalhos incidiram principalmente em caixilharias exteriores localizadas no percurso turístico, na zona VIP, dedicada a cerimónias protocolares e eventos culturais, e na área destinada aos serviços administrativos do Palácio.

A função base do modelo de degradação desenvolvido por Sousa, Pereira e Meireles (2015), mediante a análise do estado de conservação de uma amostra das caixilharias intervencionadas entre 2002 e 2003, será adotada para modelar a degradação das caixilharias de madeira exteriores do Palácio Nacional de Sintra no presente trabalho. O modelo tem em consideração a exposição das caixilharias aos agentes de degradação, designadamente a radiação solar e a chuva.

Para além da continuidade dada a trabalhos anteriores, a seleção do caso de estudo prendeu-se ainda com o contexto particular de se tratar de um edifício monumental. Os princípios que regem a conservação do património histórico edificado convergem para privilegiar a preservação da identidade histórica e cultural. Se por um lado constitui um desafio, por outro limita a natureza das intervenções passíveis de levar a cabo. Assim, a ferramenta de apoio à decisão da gestão das caixilharias de madeira exteriores do Palácio Nacional não pode considerar soluções que envolvam utilização de materiais modernos e deve procurar uma continuidade do património para as gerações futuras. No entanto, a conservação de um edifício desta natureza apresenta um grau de complexidade elevada, uma vez que não ocorre em ambiente controlado devido à exposição diária ao público e aos eventos e às atividades que nele decorrem (Chambers 1976). No caso do Palácio Nacional de Sintra, sendo um edifício de grande expressão turística, a necessidade de compatibilizar a conservação com a sua utilização incrementa significativamente a complexidade da sua gestão.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

A presente dissertação de mestrado está organizada em seis capítulos tendo como base uma estrutura tradicionalmente utilizada em documentos académicos. O presente trabalho estrutura-se numa introdução ao tema, seguido do estado da arte e por fim incide-se sobre o caso de estudo analisado e considerações finais. O documento é constituído por:

- Capítulo 1: procura-se introduzir o tema desenvolvido na dissertação fazendo-se o respetivo enquadramento geral e apresentando-se os objetivos, a motivação e organização do documento.
- Capítulo 2: são apresentados aspetos gerais da gestão de ativos físicos e desenvolve-se os seguintes temas: custos do ciclo de vida; modelos de degradação; e caixilharias de madeira e sua degradação. No primeiro tema são referidas as várias componentes dos custos ao durante o ciclo da vida de um empreendimento tendo em consideração a norma ISO 15868. No subcapítulo dos modelos de degradação apresenta-se os tipos de metodologias deterioração existentes e os fatores gerais que influenciam na degradação dos componentes de uma estrutura. Por fim, desenvolve-se os fatores e mecanismos de degradação de caixilharias ao nível da madeira e da pintura.
- Capítulo 3: descreve-se a metodologia concebida para desenvolver um modelo de gestão da manutenção através de um modelo de degradação e de uma análise financeira de um material ou componentes presentes no património edificado. Este capítulo constitui um guia para que a entidade gestora possa reproduzir e aplicar o método a outras campanhas de reabilitação tendo disponível mais uma ferramenta para ajudar nas decisões relativas à gestão patrimonial.
- Capítulo 4: introduz-se o caso de estudo apresentando-se as características do Palácio Nacional de Sintra e o seu enquadramento geográfico e climático. De seguida aborda-se as caixilharias de madeira do Palácio ao nível dos materiais e das anomalias e apresenta-se uma escala da degradação que serve de guia de classificação do estado em que se encontra os vãos observados.
- Capítulo 5: apresenta-se o levantamento das caixilharias realizado durante as visitas ao Palácio no ano de 2015, elabora-se um modelo degradação tendo por base o trabalho realizado em Sousa, Pereira, e

Meireles (2015) e desenvolve-se uma estratégia de gestão da manutenção das caixilharias considerando os custos de reabilitação e a sua melhoria ao longo do tempo.

- Capítulo 6: são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e recomendações para desenvolvimentos futuros relativos ao tema abordado.



## **2. Resumo de conhecimentos**

### **2.1. Considerações gerais**

As organizações entendem que o investimento em ativos físicos, em particular ativos existentes, não pode ser visto apenas como uma despesa mas sim como uma oportunidade de valorização da própria organização. A contribuição da engenharia para a gestão de ativos físicos, um tópico interdisciplinar envolvendo investigação em diversas áreas, aplica-se em diversas áreas como sejam: i) os custos ciclo de vida; ii) a manutenção; iii) a sustentabilidade; ou iv) a gestão do risco.

A análise dos custos do ciclo de vida é uma metodologia que tem em consideração todos os custos durante a vida de um ativo físico. Na aplicação a edifícios existentes, esta análise pode ser aplicada, por exemplo, na avaliação de alternativas de utilização de um edifício ou na implementação e gestão de estratégias de manutenção. Neste último tópico, é necessário identificar os problemas existentes, diagnosticar as causas, compreender os mecanismos de degradação e monitorizar os seus efeitos. Através de modelos de previsão da degradação consegue-se controlar a deterioração do património edificado e dos seus componentes.

Assim, através dos custos do ciclo de vida consegue-se elaborar um plano de gestão dos materiais ou componentes que constituem o edifício. Esta gestão do edificado deve ter em consideração uma melhoria contínua do planeamento otimizando, por exemplo, os custos das intervenções, o modelo de degradação ou os procedimentos e técnicas de reabilitação.

### **2.2. Gestão de ativos físicos**

#### **2.2.1. Definição**

De acordo com a ISO 55000 (ISO 2014), a gestão de ativos físicos é uma atividade estruturada na melhoria contínua que traduz os objetivos de uma organização em decisões, planos e atividades relacionadas com a gestão do ativo, usando uma abordagem com base no risco. Assim, assegura-se que o valor do ativo seja maximizado tanto quanto possível.

A gestão de ativos físicos é definida como atividades e práticas organizadas e coordenadas por meio de uma organização que gere de maneira otimizada e sustentável os seus ativos físicos, incluindo o desempenho, os riscos e as despesas, ao longo de todo o seu ciclo de vida (IAM 2008). Assim, pode-se referir a gestão de ativos físicos como uma metodologia para alocar os recursos de forma eficiente e equilibrada entre as diferentes partes integradas.

A gestão de ativos físicos é um processo sistemático de manutenção, melhoria e utilização de um ativo físico baseado na otimização dos custos. Esta gestão combinando princípios de engenharia com teorias da economia, providenciando ferramentas para facilitar os processos durante a tomada de decisão, tornando-se numa abordagem mais organizada e lógica. Por conseguinte, a gestão de ativos físicos dispõe de um sistema para lidar com um planeamento tanto a curto como a longo prazo (FHWA 1999).

A gestão de ativos físicos abrange diversas atividades de suporte à tomada de decisões, incluindo (Uzarski e Grussing 2008): i) criação de um inventário caracterizador dos ativos; do ativo ou de uma classe de componentes do ativo; ii) inspeção, avaliação e previsão do seu estado de degradação; iii) identificação e planejamento de estratégias e intervenções alternativas; e iv) análise dos custos, vantagens, desvantagens e riscos das alternativas. A medição e previsão da deterioração de uma infraestrutura e/ou dos seus componentes são atividades de críticas na avaliação do desempenho do ativo, devendo sempre ser incluídas no seu programa de gestão (Grussing et al. 2016).

### 2.2.2. Gestão de ativos físicos em edifícios

As metodologias da gestão de ativos físicos encontram-se fortemente consolidadas em certo tipo de infraestrutura, tais como sistemas rodoviários (FHWA 1999), sistemas de distribuição e abastecimento de água (Simonoff, Restrepo, e Zimmerman 2010) ou sistemas drenagem urbana (Ugarelli et al. 2010).

Neste tipo de infraestruturas a aplicação do sistema de gestão de ativos físicos é mais acessível de implementar devido a dois fatores: i) à sua natureza linear; e ii) por se incorporarem numa rede. Devido à sua natureza linear, uma parcela de um ativo é geralmente idêntico a outras parcelas em termos de estrutura, conceção, materiais e níveis de desempenho, tornando o sistema da gestão do ativo relativamente mais fácil de se aplicar. Ao se incorporar numa rede, a falha ou perda de desempenho num segmento tem influência em todo o resto da rede. Desta forma, neste tipo de infraestruturas existe uma maior importância na gestão e monitorização do risco (Grussing 2014).

No caso de edifícios, a implementação de uma gestão consistente de ativos físicos é um desafio pois, no domínio do edificado existem diversos estilos de engenharia, tipos de utilização, tipos construção e exigências de desempenho. Para além disso, acrescenta-se o número de especialidades envolvidas num edifício como por exemplo, arquitetos, engenheiros ou técnicos profissionais de carpintaria, canalização, eletricidade. Em conclusão, cada edifício deve ser tratado como único (Grussing 2014). No entanto, fatores como a escassez de espaço para nova construção de edifícios, sobretudo em zona urbanas, tem chamado a atenção da necessidade de se implementar sistemas de gestão em edifícios existentes (Shiple, Utz, e Parsons 2006).

O objetivo tradicional na gestão de um edifício é recolher anomalias existentes e determinar qual a ação a realizar de forma que o ativo volte a um estado aceitável. Porém, este tipo de comportamento não alcança por completo o objetivo principal do ciclo da gestão de ativos físicos (Uzarski e Grussing 2008). Apesar deste levantamento ser importante para a compreensão do nível de degradação do edifício, como ação individual não fornece informação suficiente para elaborar um plano de trabalhos intervenção que tenha em consideração o ciclo de vida do edifício.

Segundo Grussing (2014), a gestão dos ativos dos edifícios tem tido maior expressão ao nível da gestão operacional do edifício (*facility management*) que apenas tem objetivo de assegurar a utilização diária das instalações e gerir o seu impacto sobre as pessoas e o local de trabalho.



Os ativos de um edifício são as suas componentes tais como, coberturas, janelas e portas ou paredes. O sistema gestão de edifícios é uma metodologia que gere as decisões de intervenção, quer sejam manutenção, reabilitação, modernização ou eventual substituição durante o todo seu ciclo de vida, otimizando sempre os custos do planeamento.

## 2.3. Análise dos Custos do Ciclo de Vida - ACCV

### 2.3.1. Introdução ao Ciclo de Vida

A ISO 15686-5(2008) descreve o ciclo de vida de um empreendimento sendo as “fases consecutivas e interligadas do objeto em consideração integrando todas as fases desde a construção, operação e manutenção até ao seu fim de vida incluindo a desativação e demolição”.

Em 2000, a *International Organization for Standardization* (ISO) publicou a primeira edição da norma ISO 15686 - *Buildings and constructed assets*, tendo sofrido várias revisões ao longo dos anos, que tem como objetivo regular todo o planeamento do ciclo de vida de uma infraestrutura (e.g. edifício, ponte ou túnel) ou apenas de uma componente de uma infraestrutura (e.g. sistema energéticos, barreiras divisórias de betão de autoestradas ou condutas de um rede distribuição de água). Esta norma divide-se em:

- *Part 1: General principles and Framework* – define-se os princípios gerais e fornece orientações relativas aos procedimentos a adotar na fase de projeto, tendo em consideração a sua durabilidade;
- *Part 2: Service life prediction procedures* – apresenta-se uma metodologia para estimar a vida útil;
- *Part 3: Performance audits and reviews* – descreve-se os procedimentos para implementar o planeamento da vida útil;
- *Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling* – requisitos e formatos de dados utilizados na previsão de vida útil, referentes aos ambientes e condições de serviço;
- *Part 5: Life-cycle costing* – desenvolve-se modelos de custo, de gestão e manutenção dos empreendimentos, tendo em vista o custo global;
- *Part 6: Procedures for considering environmental impacts* - foca-se nos impactos ambientais das diferentes soluções de projeto; estabelece uma relação entre os custos globais e o planeamento dos empreendimentos, durante o período de vida útil;
- *Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice* – guia para a recolha de informação relativa ao desempenho durante a vida útil de edifícios construídos;
- *Part 8: Reference service life and service-life estimation* – descreve-se a metodologia de aplicação do método fatorial;
- *Part 9: Guidance on assessment of service-life data* – fornece-se indicações relativas a harmonização de produtos da construção;
- *Part 10: When to assess functional performance* – indicações sobre a necessidade de especificar ou verificar o cumprimento de requisitos de desempenho funcional do património construído;
- *Part 11: Terminology* – terminologia adotada.

Segundo PMI (2008), os gestores de projeto ou as organizações dividem os seus empreendimentos por fases sequenciais, por vezes sobrepostas (Figura 2.1), conseguindo assim um melhor controlo da sua gestão e do seu desempenho. Ao conjunto de todas as fases do empreendimento denomina-se o ciclo de vida do empreendimento podendo ser determinado ou moldado pelos aspetos distintos de cada indústria, organização ou tecnologia.

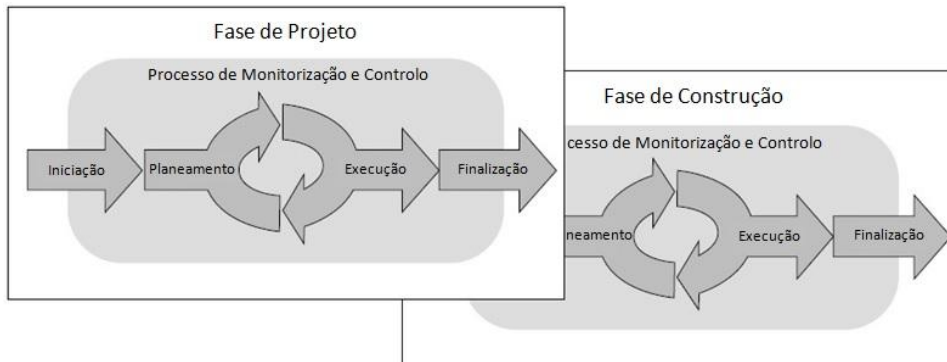


Figura 2.1 - Exemplo de fases sobrepostas da construção de um empreendimento (adaptado de PMI (2008))

Bayer et al. (2010) descreve que cada produto ou processo tem, ao longo da sua vida, várias fases ou etapas compostas por inúmeras atividades. As fases dos produtos industriais podem ser definidas em aquisição do material, produção, uso e manutenção e fim de vida. Enquanto no caso do sector da construção, as fases são delineadas como fabricação dos materiais, construção, uso e manutenção e fim de vida.

### 2.3.2. Enquadramentos dos Custos do Ciclo de Vida

Os custos do ciclo de vida (CCV) não são um conceito novo. Segundo Cho et al. (2004), a sua relevância no âmbito de otimização da tomada de decisões durante as fases do planeamento, do projeto, da construção, da manutenção e da reabilitação, apenas tem tido maior reconhecimento recentemente.

Boussabaine e Kirkham (2004) afirmam que, anteriormente a 1970, um comprador de um imóvel tinha a perceção que ao adquirir um imóvel mais dispendioso, os custos a longo prazo seriam menores comparativamente a um imóvel mais barato. A esta forma de pensar dá-se o nome de “*terotechnology*” sendo o primeiro conceito de custos totais do ciclo de vida (*Whole life-cycle*). Ao longo do tempo, os custos totais do ciclo de vida foram evoluindo através de novas teorias como representa a Figura 2.2.

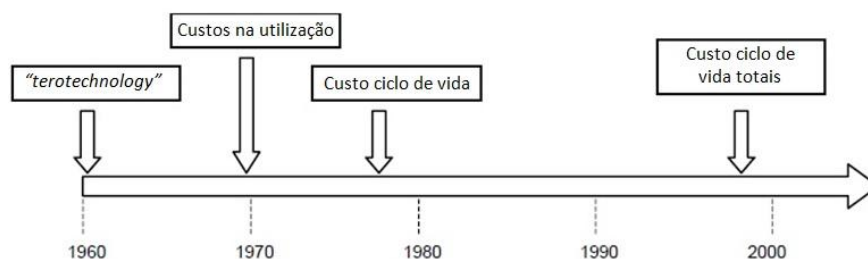


Figura 2.2 – Evolução dos custos de ciclo de vida totais ao longo do tempo (A. Boussabaine e Kirkham 2004)

Esta evolução foi acompanhada pela publicação de diversos guias e normas, tanto ao nível de cada país como a níveis mais locais ou setoriais de alguns autores (Kovacic e Zoller 2015; Langon 2006; Krigsvoll e Grini 2009):

- Estado do Alasca (EUA): *Life Cycle Cost Analysis Handbook (1999)*;

- Norma da Austria: *ÖNORM B 1801-2 Civil engineering and building construction costs – Building data – User costs (1995)*;
- Normas da Alemanha: *DIN 276-1 Building costs - Part 1: Building construction ; DIN 18960 User costs of buildings*;
- Norma da Noruega: *NS 3454 Life cycle costs for building and civil engineering work - Principles and classification (2000)*.

A ISO 15686-5 representa um culminar desta evolução em termos de consenso internacional relativamente à análise dos CCV de edifícios e outras infraestruturas. A norma tem como principal objetivo normalizar a análise do CCV ao longo da vida de um ativo construído, baseando-se nos seguintes princípios: i) estabelecer uma terminologia e uma metodologia para a ACCV que possa ser utilizada em toda a indústria da construção; ii) ajudar a melhorar na tomada de decisões em todas as fases relevantes de um empreendimento/projeto através de um guia de princípios, instruções, definições, tendo em consideração riscos e incertezas, tornando as considerações elaboradas mais acertadas; e iii) fornecer uma estrutura de trabalho de maneira a facilitar a comparação entre níveis dos elementos de análise e dos elementos de referência.

Na ISO 15685-5 especificam-se os procedimentos para implementar a ACCV em edifícios e seus componentes. Esta avaliação tem em consideração os fluxos financeiros relevantes desde a fase do planeamento até a demolição/substituição, incluindo comparações entre as diferentes opções apresentadas e estimativas dos custos futuros. A análise é, geralmente, elaborada para um dado período, podendo este ser inferior vida útil do empreendimento. Assim, a ACCV é um técnica valiosa não só para prever e avaliar o desenvolvimento dos custos, mas também para determinar se os requisitos do empreendimento estão de acordo com os do cliente.

A ACCV é uma ferramenta económica que avalia a evolução de todos os custos durante toda a vida de uma infraestrutura. Este método pode ser aplicado num empreendimento novo ou numa infraestrutura já existente, em grandes empreendimentos ou somente em alguns componentes ou materiais (Clift 2003; Langon 2006). No primeiro caso, o ACCV vai ser implementado durante a fase de projeto e no caso de uma infraestrutura existente, esta abordagem ajuda a otimizar, principalmente, os custos de manutenção e de reabilitação.

Segundo Woodward (1997), o principal objetivo da ACCV é providenciar o valor do dinheiro a um investidor identificando a opção com menor custo líquido, sendo os objetivos secundários desta análise os seguintes: i) detalhar os custos anuais de operações de um ativo físico; ii) identificar as parcelas onde os custos de utilização possam ser reduzidos; iii) identificar os custos totais do ciclo de vida invés de centrar nos custos do investimento inicial; e iv) facilitar a escolha da solução mais efetiva dentro dos vários métodos de alcançar o mesmo objetivo.

A ACCV tem sido aplicada em vários tipos de ativos construídos, nomeadamente: i) edifícios (Menassa e Rexrode 2010; Kovacic e Zoller 2015; ISO 2008c); ii) estradas (Santos e Ferreira 2013; Chan, Keoleian, e Gabler 2008); ou iii) obras de arte como pontes (Zayed, Chang, e Fricker 2002; Safi, Sundquist, e Karoumi 2015; Hu et al. 2011).

Segundo Fuller e Petersen (1996), os projetos de conservação de energia são ótimos exemplos de aplicação de ACCV. Neste tipo de projetos existem várias oportunidades para melhorar as performances térmicas das envolventes de um edifício (como por exemplo, paredes, janelas, coberturas) minimizando as perdas de calor no inverno e os ganhos de calor no verão. Quando existe um aumento do custo inicial de um empreendimento devido a um sistema de conservação de energia, pode-se recorrer à ACCV. Com esta técnica consegue-se avaliar se o incremento inicial é economicamente viável, comparando esse investimento inicial com a redução dos custos energia que o sistema proporciona durante a vida útil da infraestrutura. Um exemplo de um sistema de conservação de energia é o sistema AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) sendo consideravelmente mais económico comparativamente com outras soluções permitindo manter um conforto aceitável no interior do edifício.

Langdon (2007) enumera os benefícios da aplicação da ACCV para os diversos tipos de investidores no sector da construção (Tabela 2.1). No entanto, Kovacic e Zoller (2015) realçam que o objetivo da ACCV diverge consoante cada investidor. O interesse dos arrendadores de edifícios pode apenas consistir na otimização dos custos a quais são responsáveis (custos de manutenção e reparação), contudo, pela perspetiva dos arrendatários o interesse recai nos custos energéticos. Através do exemplo anterior, conclui-se que o propósito tem uma grande influência na escolha do método, do período de duração e no grupo de custos a analisar.

**Tabela 2.1 - Benefícios da ACCV (Langdon 2007)**

<b>Sector Público</b>	<b>Investidores Comerciais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimiza os custos de funcionamento a longo prazo;</li> <li>• Preserva o valor da propriedade;</li> <li>• Prevê custos futuros;</li> <li>• Ajuda a planear os futuros gastos (plano de amortização);</li> <li>• Avalia a performance de perdas e ganhos;</li> <li>• Demonstra o valor do dinheiro investido;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alia futuros arrendatários;</li> <li>• Preserva o valor da propriedade;</li> <li>• Sustenta mecanismos de financiamento;</li> <li>• Calcula os níveis de cobrança;</li> </ul>
<b>Sector Privado</b>	<b>Contratos PPP</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimiza custos de operação;</li> <li>• Facilita nos orçamentos e em planeamentos futuros;</li> <li>• Melhora os requisitos de arrendamento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimiza custos de operação;</li> <li>• Facilita nos orçamentos e em planeamentos futuros;</li> <li>• Ajuda a planear os futuros gastos;</li> <li>• Avalia a performance de perdas e ganhos;</li> <li>• Melhora os requisitos contratuais;</li> </ul>

### 2.3.3. Categorias de Custos

Para de ser feita a ACCV é necessário identificar os vários elementos que compõem os custos totais do ciclo de vida. A ISO (2008) enuncia todos os custos relevantes para a caracterização da ACCV apresentados, de uma maneira simplificada, na Figura 2.3.

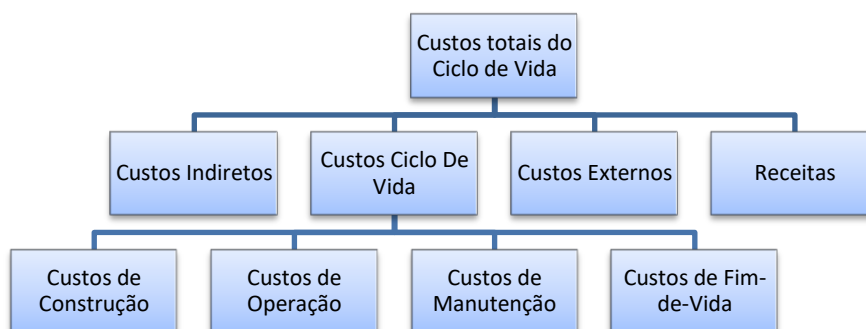


Figura 2.3 - Custos totais do ciclo de vida (adaptado de (ISO 2008c))

Apesar da ISO (2008) incluir os custos de manutenção periódica, os custos de reparação e os custos de substituição na parcela dos Custos de Manutenção, é preciso ter em consideração que são custos bastante distintos e que ocorrem em períodos diferentes. A parcela de Custos de Construção inclui todos os custos que contribuem para a realização da obra (e.g. custos de projeto).

De acordo com Fuller e Petersen (1996), para uma ACCV é necessário fazer a distinção entre os seguintes custos:

- **Investimento versus Custos Operacionais**

A distinção entre Investimento e Custos Operacionais é útil quando são aplicadas medidas económicas, como a Taxa Interna de Retorno e o Rácio Custo-Benefício (ver Capítulo 2.3.4), que avaliam a evolução entre poupança nos custos de utilização e o incremento do custo de capital de investimento.

Ao Investimento pode-se associar os custos de planeamento, projeto, aquisição, construção e custos de substituição provenientes de um fundo de capital. Os Custos Operacionais são caracterizados por custos de operações, manutenção, reparação e de substituição associados à manutenção ou reparação.

- **Investimento Inicial versus Custos Futuros**

A distinção entre os Investimento Inicial e Custos Futuros recai na ponderação do período retorno do investimento. Neste caso, Investimento Inicial é constituído pelos custos de planeamento, projeto, aquisição e construção, e os Custos Futuros pelos custos de operações, manutenção, reparação e de substituição.

- **Custos Pontuais versus Custos Anuais**

Esta categorização de custos determina qual o tipo de fator de valor presente a ser aplicado ao saldo de fluxo financeiros para períodos futuros. Os Custos Pontuais ocorrem, em intervalos não anuais, uma ou mais vezes no período de análise. O investimento inicial, os custos de substituição e de manutenção programados, com duração superior a um ano, normalmente são tratados como Custos Pontuais. Os Custos Anuais ocorrem regularmente todos os anos durante o período de serviço e com um valor semelhante (e.g. custos da água, eletricidade, manutenção diária).

Contudo, perante orçamentos constrictos e limitados, as entidades decisoras têm tendência para pensar a curto prazo e não a longo prazo comprometendo os custos futuros (Pallasch et al. 2010). Através da Figura 2.4,

observa-se que cerca de 80% a 85% dos custos de empreendimento pertencem aos custos de utilização e segundo Christian e Pandeya (1997), cerca de 60% a 85% dos CCV pertencem à fase de operação e manutenção para edifícios comerciais, porém, muitas entidades decisoras não têm este conhecimento. Na medida de otimizar os CCV, vários autores (Cho et al., 2004; Frangopol e Maute, 2003; Kovacic e Zoller, 2014; Lee, Cho, e Cha, 2006; Santos e Ferreira, 2013; Yi, Cho, Hwang, e Lee, 2004) sugerem integrar os CCV logo na fase do projeto apresentando também metodologias de manutenção e/ou reabilitação das infraestruturas. Esta medida assegura a sustentabilidade de futuros orçamentos melhorando a gestão das infraestruturas.

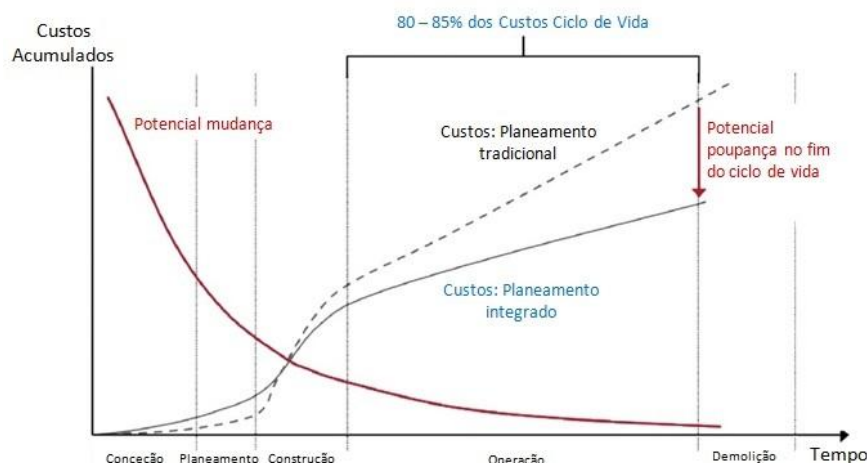


Figura 2.4 - Custo de desenvolvimento vs Potencial mudança sobre o ciclo de vida dos edifícios (LaSalle, 2008 apud Kovacic e Zoller, 2014)

A curva “Potencial mudança”, da Figura 2.4, representa a possível poupança devido à implementação da análise dos custos ciclo de vida nas fases de planeamento e de projeto do empreendimento. Durante a elaboração do projeto, as suposições iniciais devem ser revistas e melhoradas progressivamente ou substituídas por novas, otimizando assim os CCV.

### 2.3.4. Métodos de avaliação financeira

Os custos de um empreendimento, que ocorrem em diferentes períodos na vida de uma infraestrutura, não podem ser comparados ou somados diretamente devido à variação temporal do valor do dinheiro. Os custos devem ser convertidos para um período equivalente de valor.

O método de cálculo que permite comparar os valores atuais dos custos com os valores futuros é dado pela seguinte expressão:

$$VA = \frac{VF_t}{(1 + d)^t} \quad (2.1)$$

Onde,

VA – Valor Atual no ano de referência;

VF<sub>t</sub> – Valor Futuro no ano t;

d –Taxa de atualização;

t – intervalo de tempo entre o ano de referência e futuro.

Ao aplicar-se esta fórmula aos CCV, é preciso ter em consideração todos os custos futuros mencionados anteriormente. Na análise dos custos futuros é necessário ter em conta dois parâmetros: i) a Taxa de atualização; e ii) a Inflação.

### **Taxa de atualização**

Os valores de custos futuros tem de ser aplicado uma taxa de atualização de forma a converter em custos atuais. A aplicação de uma taxa elevada irá favorecer projetos de baixo custo de capital, curta duração e com elevados custos permanentes. Uma taxa de atualização baixa tem o efeito oposto. A taxa de atualização pode ter valores entre os 3 a 4% (valores baixos) até 20% (em excesso) sendo a escolha do valor associada ao tipo de investimento, filosofia da empresa e do tempo de análise (Woodward 1997).

Segundo a ISO 15686-5 (2008), a taxa de atualização representa o custo de oportunidade de um investimento podendo ser: i) o custo dos juros de um empréstimo para o investimento; ii) a perda de interesse relacionada com a redução da tesouraria; iii) as perdas de receitas sobre outros investimentos (e.g., em obrigações ou ações); iv) o rendimento real do investimento obtido no processo; ou v) a taxa de rendibilidade exigida pelo investidor.

Desta forma, relativamente a projetos de engenharia e construção civil, o espectro de valores da taxa de atualização pode ser bastante variado pois o seu valor é atribuído consoante o âmbito do projeto e do investidor. Segundo Alipour, Shafei, e Shinozuka (2010) refere-se que o valor da taxa de atualização geralmente varia entre 4% a 10%. No estudo de Kovacic e Zoller (2015) é aplicada uma taxa de 5,5% no cálculo do valor atual. Nas estratégias de manutenção de fachadas de edifícios da publicação de Chai et al. (2014) recorre-se a uma taxa de 8% (3% de taxa mínima de risco e 5% de taxa média). Na comparação dos custos futuros de manutenção de diferentes tipos de janelas, Menzies (2013) utiliza uma taxa de 7%. Nas estratégias de manutenção de pontes do trabalho Kong e Frangopol (2003) aplica-se uma taxa de 5%. Clift (2003) considera uma taxa de atualização de 6% no cálculo dos custos do ciclo de vida.

### **Inflação**

A taxa de inflação provoca um aumento dos preços tornando o poder de compra do consumidor menor. Quando a taxa de inflação tem valor negativo – deflação - o efeito reverte-se, ou seja, os preços diminuem. Na ACCV, a inflação pode ser utilizada para converter os valores dos custos passados, valores documentados, em custos atuais através dos índices de preços. Para estimar os valores atuais pela Equação 2.1., a inflação deve ser tratada da seguinte forma (Langon 2006; Fuller e Petersen 1996; Clift 2003):

- Valor nominal - aplica-se uma taxa de atualização nominal aos custos futuros que incluem a inflação;
- Valor real - aplica-se uma taxa de atualização real aos custos futuros que não incluem a taxa de inflação.

O valor nominal relaciona-se com o valor real pela seguinte relação:

$$d = \frac{1 + D}{1 + I} - 1$$

(2.2)

Sendo,

d: Taxa de Atualização Real;

D: Taxa de Atualização Nominal;

I: Taxa de Inflação.

As técnicas de avaliação económica são utilizadas pelos investidores, tanto do setor privado como do setor público, como ferramentas de auxílio na tomada de decisão relativamente à viabilidade do investimento durante a evolução do projeto. Algumas destas medidas indicam o valor do lucro num específico período, enquanto outras fornecem a taxa de retorno por período (Au 1988). Sendo o principal objetivo da ACCV de um projeto demonstrar que os lucros durante a fase de utilização justificam o incremento do investimento inicial, a aplicação de métodos de avaliação é fundamental (Fuller e Petersen 1996). As técnicas de avaliação económica mais utilizadas na ACCV são:

- Custo Anual Equivalente;
- Valor Atualizado Líquido;
- Taxa Interna de Rendibilidade;
- Período de Retorno;
- Índice de Rendibilidade ou Rácio Custo-Benefício.

#### **Custo Anual Equivalente (CAE)**

O CAE é um fluxo constante de custos líquidos, espaçados por instantes equivalentes, tendo em consideração o valor do dinheiro no tempo durante o período de análise. Esta técnica é utilizada para comparar investimentos concorrentes quando os períodos de análise são diferentes. A opção com menor valor de CAE é a opção com menor custos totais (ISO 2008c; Langon 2006).

#### **Valor Atualizado Líquido (VAL)**

O VAL é um indicador de rendibilidade de um investimento e corresponde à soma dos fluxos de caixa atualizados no período de análise. Quando o VAL apresenta um valor positivo, considera-se que o projeto é economicamente aceitável. Na comparação da viabilidade de projetos, com a mesma taxa de atualização, aquele que tiver maior VAL representa a opção com maior lucro (Au 1988). Para que se consiga comparar projetos através do VAL, é necessário que valores de investimento e o período de análise sejam idênticos.

#### **Taxa Interna de Rendibilidade (TIR)**

A TIR é a taxa de atualização quando o VAL é igual a zero. Esta técnica serve para avaliar a taxa de atualização utilizada na ACCV sendo o critério: se a TIR for maior que a taxa de atualização, o projeto é economicamente viável; caso a TIR seja menor que a taxa de atualização, o projeto não é economicamente viável (Langon 2006). A TIR é utilizada para graduar níveis diferentes de investimento e padrões diferentes de fluxos financeiros ao longo do tempo (ISO 2008c).



### **Período de Retorno (PR)**

O PR representa o tempo que é necessário até o investimento estar recuperado pelos fluxos financeiros. O PR pode ser simples (sem desconto dos valores futuros) ou descontado (utiliza os valores presentes) e, de maneira geral, ignora todos os custos e ganhos depois de se ter alcançado o PR (ISO 2008c). O PR deve ser comparado com uma data limite pré-definida, ou seja, no caso dos CCV, o PR deve ser inferior ao período de análise (Langon 2006).

### **Índice de Rendibilidade (IR)**

O IR é uma medida de avaliação económica que expressa a relação entre as receitas descontadas e os custos descontados, para o mesmo período de análise. Um projeto é rentável quando apresenta um IR superior a 1 e numa situação de comparação de projetos, a melhor opção será a que apresentar o maior RCB (ISO 2008c; Au 1988).

### **2.3.5. Risco e incerteza na ACCV**

Quando se elabora uma ACCV, o risco e a incerteza surgem quando são feitas assunções sobre o tempo de vida do empreendimento, durante o cálculo dos custos de operação e manutenção e noutros fatores que influenciem a economia do projeto. A existência de duvidade sobre a informação dos custos e da duração obriga a avaliar o nível de incerteza associado ao resultado dos CCV, sendo esta informação adicional importante durante a tomada de decisões (Fuller e Petersen 1996). Através de Cho et al. (2003), pode-se acrescentar que a falta de dados sobre os custos, diretos e indiretos, e os complexos modelos de degradação das infraestruturas fazem incrementar o risco durante a ACCV.

Porém, a chave para lidar com a incerteza das previsões realizadas consiste na compreensão do grau exatidão das decisões tomadas. As abordagens mais frequentes na análise do risco nos CCV são (Fuller e Petersen 1996; Langon 2006):

- **Determinística** - esta abordagem utiliza valores únicos de entrada (*single-value inputs*) que indicam o impacto no resultado quando se altera um valor com grau de incerteza ou uma combinação de valores. Num método determinístico recorre-se a valores históricos ou a uma base de dados para elaborar a análise da incerteza;
- **Probabilística ou Estocástica** - nesta abordagem, em contraste com a anterior, consideram-se inúmeras alternativas do resultado e a cada possibilidade associa-se uma probabilidade, ou seja, para cada valor de entrada considera-se uma função de distribuição de probabilidades, podendo-se utilizar para estimar o nível do risco.

No entanto, durante a análise da incerteza, é necessário compreender se os custos para minimizar os riscos não provocam um aumento nos custos totais, tornando o risco do empreendimento aceitável perante as organizações e entidades decisoras.

## 2.4. Modelos de degradação

### 2.4.1. Introdução à durabilidade e degradação

As propriedades dos materiais vão-se modificando ao longo da sua vida útil devido à degradação. A velocidade da degradação depende da qualidade do material, dos mecanismos de degradação e do meio ambiente. De acordo com a ISO (2008b), a durabilidade pode ser definida como a capacidade que um elemento tem de realizar adequadamente a sua função, de forma contínua e sobre o efeito de agentes de degradação, durante um específico período de utilização. No entanto, de acordo com a definição anterior, a durabilidade não é uma propriedade específica do material pois depende do meio ambiente em que se encontra e do tipo de manutenção que está sujeito.

Segundo Ellingwood (2010), apesar das infraestruturas serem projetadas para suportar as cargas provocadas pelas ações que ocorrem durante a sua vida útil, este carregamento é suficiente para causar uma degradação estrutural significativa. Adicionalmente, dependendo da localização e do aumento da intensidade de utilização, as infraestruturas podem estar sujeitas a mecanismos físicos e químicos que provocam um envelhecimento precoce na estrutura.

Segundo Siemes (2002), enuncia-se os seguintes fatores como principais responsáveis pelo fim de vida de utilização de uma construção: i) motivos técnicos - os requisitos funcionais cedem devido ao envelhecimento da estrutura; ii) aspetos económicos - quando a demolição de uma infraestrutura é melhor solução a nível económico do que a sua reabilitação; iii) aspetos ambientais - por exemplo, a utilização de amianto num edifício põe em risco a saúde dos utilizadores; iv) motivos de planeamento - por exemplo, através da demolição de um edifício existe a possibilidade da construção de uma nova infraestrutura (e.g. autoestrada, linha férrea); v) motivos sociais - em ocasiões em que a demolição de uma estrutura permite criar melhores condições para os habitantes da cidade; vi) desenvolvimentos tecnológicos - demolição e substituição de uma infraestrutura em que a sua função já não se enquadra às necessidades atuais (e.g. demolição de um reservatório de água tipo torre para ser substituído por uma bomba elétrica).

### 2.4.2. Modelos de previsão da degradação

Um modelo de degradação, geralmente, constitui-se em uma ferramenta que permite estimar a evolução da degradação de um determinado material ou componente submetido a uma ação isolada ou combinada dos agentes de degradação, ao longo da sua vida útil. Os modelos de degradação são frequentemente utilizados na resolução de problemas de desempenho dos materiais que compõem as estruturas e seus componentes. A previsão da deterioração das estruturas ou dos seus componentes é ferramenta importante na gestão de infraestruturas ao longo de todo o seu período de vida.

Ellingwood (2010) afirma que a maioria dos estudos realizados na área de mecanismos de degradação dos materiais no âmbito das ciências dos materiais, eletroquímica ou em campos semelhantes, descendem dos estudos elaborados em engenharia civil. Usualmente, a deterioração das estruturas é modelada através de uma equação que depende do tempo de análise:

$$X(t) = a(t - T_i)^b \varepsilon(t) \quad , t > T_i$$

Onde:

$X(t)$  - parâmetro de degradação (e.g. perda de seção, profundidade de penetração);

$T_i$  - período de iniciação;

$a$  e  $b$  - constantes determinadas pela análise de regressão dos dados recolhidos;

$\varepsilon(t)$  - erro variável.

Esta equação prevê que  $X(t)$  aumente linearmente com  $t$  (tempo), sendo esta relação de natureza empírica que depende da quantidade de informação (dados) e da sensibilidade ao meio ambiente (e.g. temperatura, humidade, vento).

Segundo Edirisinghe, Setunge e Zhang (2015), os principais métodos para estimar a degradação são os modelos determinísticos (modelos lineares e não lineares) e modelos estocásticos ou probabilísticos. Porém, no artigo publicado por Morcous, Rivard, e Hanna (2002) refere-se como métodos de deterioração os modelos determinísticos, os modelos estocásticos e os modelos baseados em inteligência artificial (Tabela 2.2).

**Tabela 2.2 – Exemplos de modelos de degradação (Tran 2007)**

Baseado em Funções		Baseado em Dados
Modelos Determinísticos	Modelos Estocásticos	Modelos de Inteligência Artificial
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linear</li> <li>• Exponencial</li> <li>• Potencial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadeia de Markov</li> <li>• Análise discriminatória</li> <li>• Regressão Ordinal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes Neurais</li> <li>• Raciocínio Baseados em Casos</li> <li>• Conjuntos Difusos</li> </ul>

Contudo, para se obter um valor de degradação, em primeiro lugar deve-se elaborar uma escala de medida de degradação em que se representa uma escala dividida em níveis de degradação, sendo caracterizados pela descrição do estado do elemento em cada nível. Este tipo de escalas utiliza-se tanto em modelos determinísticos (Sousa, Pereira, e Meireles 2015; Gaspar e de Brito 2011) como em modelos probabilísticos (Agrawal, Kawaguchi, e Chen 2010; Cesare et al. 1992).

No entanto, a performance de um material ou componente é inerente à variabilidade e incerteza sendo a performance inicial que determina a taxa de degradação. A distribuição de previsão da deterioração irá alterar-se, ao longo do tempo, e consequentemente a distribuição da probabilidade do desempenho incrementa até passar o nível máximo aceitável (Figura 2.5). Neste tipo de abordagens de previsões do estado de degradação requer-se conhecimento e compreensão sobre os processos de deterioração e sua interação com o meio ambiente.

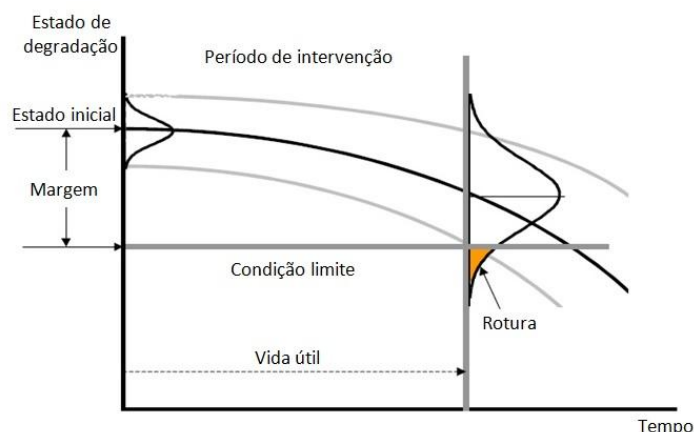


Figura 2.5 – Degradação definida ao longo tempo até atingir a probabilidade máxima aceitável (adaptado de Bamforth e Alisa 2003)

A condição limite do nível de degradação geralmente é imposta por uma característica mecânica que tenha influência no desempenho do elemento ou por um requisito relacionado com a sua funcionalidade (e.g. requisito estético).

### **Modelos determinístico**

Os modelos determinísticos descrevem uma relação matemática entre os parâmetros de entrada (input) e de saída (output) conseguindo-se uma correlação entre os fatores obtendo-se uma função de degradação. Estas fórmulas expressam a ação dos agentes de deterioração ao longo do tempo através de modelos lineares ou não lineares (Edirisinghe, Setunge, e Zhang 2015). Estas funções são compostas por coeficientes que devem ser estimados para um melhor ajuste à situação de análise, como se exemplifica pelas seguintes funções apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Exemplos de funções de modelos determinísticos

Tipo de função	Equação
Linear	$Y(t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot t$
Quadrática	$Y(t) = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \beta_2 \cdot t^2$
Exponencial	$Y(t) = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot t}$

Este tipo de funções são caracterizadas pelo nível de degradação do elemento observado no ano  $t$  ( $Y(t)$ ), onde  $t$  representa a idade do material ou componente em análise, e por coeficientes que devem ser calibrados ( $\beta_i$ ). Por vezes, estes modelos podem conter vários parâmetros que influenciem a degradação (e.g. meio ambiente ou modo de utilização).

Este tipo de modelos de deterioração adequa-se a algumas componentes ou tipos de infraestruturas, tais como pavimentos (Lou et al. 2001) ou caixilharias de madeira (Sousa, Pereira, e Meireles 2015).

De acordo com Garrido (2010), existe outro tipo de modelos determinísticos baseados na definição de curvas de degradação que representam desempenho diferido dos materiais ou componentes em análise. Estas curvas de degradação podem ser obtidas através do ajuste a gráficos de deterioração representando a evolução da degradação ao longo de um dado período. A escolha das curvas de degradação depende essencialmente da natureza dos fenómenos de desgaste, devendo apresentar um ajuste adequado ao andamento geral dos

pontos do gráfico de deterioração. As curvas do tipo Gompertz, potenciais e Weibull são exemplos deste tipo de modelação, tendo sido utilizados para representar o desempenho fachadas nos trabalhos de Paulo (2009) (apud Garrido 2010) e Garrido (2010) ou o nível de degradação da madeira (Brischke e Rapp 2008).

Tipicamente, os gráficos dos modelos determinísticos apresentam a idade do elemento em análise no eixo das abcissas e uma escala de medida da degradação no eixo das ordenadas. A escala de medida da degradação poderá ser uma medida da extensão da vida útil ou uma a escala de medida da deterioração estando subdividida em níveis de degradação.

Apesar dos modelos determinísticos possuírem uma relação direta entre os valores de entrada e de saída, são modelos que apresentam limitações. A abordagem determinística não pode ser aplicada em sistemas complexos onde a relação matemática tem como base uma variada e extensa base de dados (Tran 2007). Este tipo de modelos negligencia a incerteza devido à existência de variáveis não observadas, pela presença de erro e pelo modo estocástico que a evolução da degradação apresenta (Madanat e Ibrahim 1995). De acordo com Sianipar e Adams (1997), refere-se, por exemplo, que a aplicação de um modelo determinístico não consegue interligar os mecanismos de degradação dos vários componentes existentes nas pontes, tais como, o tabuleiro, as rótulas e as juntas de dilatação.

### **Modelos estocásticos**

Os modelos estocásticos são baseados em estatística aplicando-se em modelos de previsão de degradação que contêm uma base de dados de elevado nível de incerteza e de aleatoriedade. Segundo Dasu e Johnson (2003), mencionado por Edirisinghe, Setunge, e Zhang (2015), neste tipo de modelos recorre-se a funções de densidade para calcular os erros e uma probabilidade entre os dados de entrada (*input*) e de saída (*output*).

A abordagem de cálculo mais comum nos modelos estocásticos é a cadeia de Markov que se baseia na hipótese de um modelo de deterioração ser definido a partir de um número limitado de condições tendo em consideração as probabilidades de transição de um nível de degradação para outro. As probabilidades calculadas neste método dependem apenas das ações realizadas (incluindo nenhuma ação) e da última degradação, numa unidade de tempo, ignorando o histórico do processo (van Noortwijk e Frangopol 2003; Tran 2007). Este tipo de abordagem foi aplicado em vários tipos de infraestruturas como edifícios (Edirisinghe, Setunge, e Zhang 2015), pavimentos (Thomas e Sobanjo 2013; Ferreira et al. 2014) ou pontes (Cesare et al. 1992; Morcous 2006; Agrawal, Kawaguchi, e Chen 2010).

Contudo, o modelo de Markov também apresenta algumas limitações como por exemplo: à semelhança dos modelos determinísticos, a cadeia de Markov não relaciona os mecanismos de degradação de uma estrutura com os mecanismos dos seus componentes (Cesare et al. 1992); ou, o modelo de Markov assume um estado de degradação independente, ou seja, as condições de deterioração anteriores não têm efeito na previsão dos estados futuros (Madanat, Karlaftis, e McCarthy 1997).

### 2.4.3. Agentes de degradação

Os materiais e componentes de ativos construídos estão sujeitos a um leque alargado de agentes de degradação (Tabela 2.4) que provocam ou contribuem para a redução da sua vida útil. A influência desses agentes de degradação deve ter-se em consideração no desenvolvimento de metodologias de previsão da degradação dos materiais ou componentes de construção.

Tabela 2.4 – Agentes de degradação dos materiais ou componentes de construção (adaptado da ISO 6241:1984)

Natureza	Classe	Exemplos
Agentes mecânicos	Gravíticos	Cargas devidas à neve, cargas devidas a água das chuvas
	Forças e deslocamentos	Formação de gelo, expansão e contração, deslizamento de terras, fluência
	Energia cinética	Impactos, tempestades de areia, golpes de ariete (canalizações)
	Vibrações e ruídos	Escavação de tuneis, vibrações devidas ao trânsito ou a aparelhos instalados, sismos, explosões
Agentes eletromagnéticos	Radiação	Solar / UV, radiação radioativa
	Eletricidade	Reações eletrolíticas, relâmpagos
	Magnetismo	Campos magnéticos
Agentes térmicos	Níveis extremos ou alterações	Calor, temperaturas abaixo de 0°C, choques térmicos, incêndios
Agentes químicos	Água e solventes	Humidade do ar, água freática, álcool
	Agentes oxidantes	Oxigénio, desinfetantes, lixívia
	Agentes redutores	Sulfitos, amónia, agentes comburentes
	Ácidos	Ácido carbónico, dejetos de aves, vinagres
	Bases	Cal, hidróxidos, cimento
	Sais	Nitratos, fosfatos, cloretos
	Quimicamente neutros	Poeiras, calcário, gorduras, óleos, tintas
Agentes biológicos	Vegetais e microbiais	Bactérias, bolores, fungos, algas, raízes
	Animais	Roedores, insetos, aves

A ISO 15686 (ISO 2008d) apresenta o método fatorial para estimar a vida útil de uma infraestrutura ou de um elemento de uma infraestrutura. Este método baseia-se na da vida útil de referência corrigida em função de sete fatores que influenciam a deterioração do elemento em análise. A vida útil expectável é determinada para condições de utilização padrão e depende das características da infraestrutura ou do componente e dos agentes de degradação respetivos. Os fatores de degradação estão relacionados com a qualidade da construção e instalação, com as condições ambientais e com as condições de operação e manutenção, sendo traduzidos em fatores corretivos referentes a:

- qualidade dos materiais utilizados - e.g. a utilização de uma madeira de elevada duração, com um preservador de madeira e aplicada uma pintura adequada, aumentam o nível de desempenho do elemento;
- nível de projeto - as componentes instaladas, decididas na fase de projeto, refletem o nível de proteção dos elementos contra os agentes de degradação (e.g. pormenorização do revestimento, qualidade do acabamento);
- nível de execução - tem como base os trabalhos realizados no estaleiro durante a fase de construção (e.g. fiscalização e controlo de qualidade, especialização da mão de obra);

- condições ambientais interiores - o nível de exposição a agentes de deterioração no interior (e.g. localizações onde o nível de humidade são superiores como numa casa de banho);
- condições ambientais exteriores - o nível de exposição a agentes de deterioração no exterior (e.g. microclima, exposição da fachada);
- condições de utilização - a severidade das atividades durante a fase de utilização reflete-se na degradação dos componentes (e.g. áreas sujeitas a impactes por veículos ou maquinaria);
- nível de manutenção - a manutenção tem com função preservar os componentes de um elemento, no entanto, deve-se ter em consideração a periodicidade, a acessibilidade para a executar e a qualidade da manutenção.

#### 2.4.4. Influência da manutenção

A manutenção pode ser abordada de forma preventiva ou reativa. A primeira abordagem pode ser encarada como uma manutenção antes da existência de anomalias. No caso da reativa, ou corretiva segundo Takata et al. (2004), é realizada com aparecimento de anomalias evidentes. O custo deste tipo de manutenção irá aumentar em fases tardias, para manter a estrutura em condições de segurança (van Noortwijk e Frangopol 2004).

De acordo com Takata et al. (2004), o objetivo da manutenção é preservar o estado dos materiais ou elementos para que estes possam cumprir os seus requisitos funcionais durante o seu ciclo de vida. Na Figura 2.6 constata-se que através da manutenção consegue-se colmatar o desnível entre o nível funcional mínimo e nível funcional presente associado à degradação e à mudança das necessidades dos utilizadores. Tradicionalmente o objetivo das atividades de manutenção encontra-se restringido apenas à fase de utilização, contudo, o seu papel deve ser considerado noutras fases de um empreendimento (e.g. fase de projeto). A relação entre as fases de um empreendimento e a manutenção cria a necessidade de integração de informação e tecnologia provocando um incremento na durabilidade dos elementos e na eficácia da manutenção ao longo do ciclo de vida.

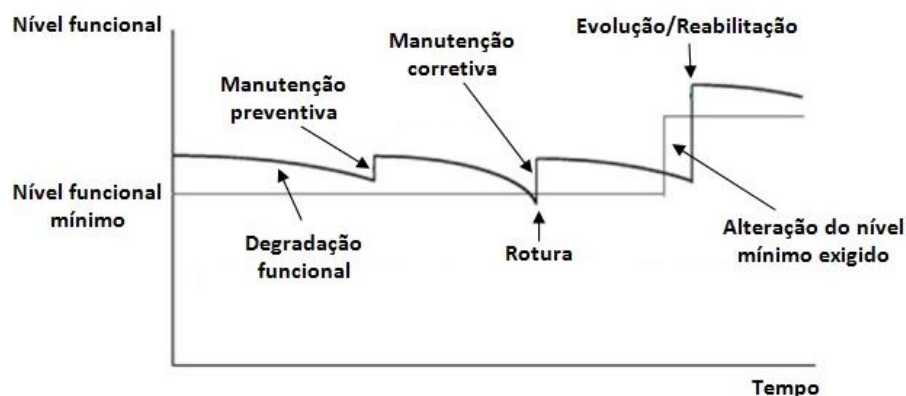


Figura 2.6 – Influência da manutenção nos níveis funcionais de um elemento (adaptado de Takata et al. 2004)

Segundo Tavares, Costa, e Varum (2011), os princípios que deverão estar na base de uma intervenção de edifício e na conceção do seu projeto são os seguintes: i) garantia da reversibilidade das soluções preconizadas; ii) adoção de soluções com o mínimo de intrusão; iii) adaptação da função ao espaço e às características do

edifício; iv) privilegiar a recuperação de processos/técnicas antigas; v) privilegiar soluções de intervenção faseadas no tempo, como meio de diminuição de soluções de grande envergadura e diminuindo custos financeiros e sociais; e vi) aferição prévia do nível de valor histórico, cultural e tecnológico do edifício.

## **2.5. Desempenho de caixilharias de madeira**

### **2.5.1. Caixilharias de madeira em edifícios**

As identidades ligadas à construção de edifícios têm cada vez mais consciência da necessidade de considerar a performance térmica e o impacto ambiental nos projetos de edifícios, aumentando, conseqüentemente, as exigências ao nível do desempenho das janelas e portas aplicadas nos edifícios. A utilização de madeira em caixilharias tem superado os requisitos impostos devido às seguintes características deste material (Forest and Wood Products Australia 2012):

- atributos estéticos e sensoriais;
- flexibilidade no manuseamento e modelação;
- disponível numa diversificada gama de produtos, espécies, tamanhos e cores;
- propriedades térmicas (baixa condutividade calor);
- longevidade, quando aplicado um acabamento adequado de proteção;
- sustentável.

No entanto, as caixilharias são geralmente referenciadas como elementos secundários que devido à sua função de barreira (entre o exterior e o interior) que desempenham (e.g. barreira de luz e ventilação), às ações a que estão sujeitas (e.g. vento, chuva, radiação solar) e às suas características intrínsecas (e.g. resistência mecânica), são elementos sujeitos a uma deterioração acelerada quando comparados com outros componentes de um edifício (Sousa 2003).

### **2.5.2. Madeira e degradação**

A madeira, assim como a pedra, é dos primeiros materiais a ser utilizado na construção pelo ser humano devido às suas excelentes características e propriedades mecânicas, à sua disponibilidade e facilidade manuseamento e aplicação (Senft 2002; Wiemann 2010; Sousa 2003). A madeira pode ser utilizada, no âmbito da construção, para diversos fins como por exemplo, em cofragens ou como revestimentos, sendo um material com boas propriedades de isolamento de calor, sonoro e elétrico.

A madeira é constituída essencialmente por celulose e hemiceluloses embebidas numa matriz lenhina, sendo a sua matriz de composição também composta por água (humidade relativa). Além destes, a madeira possui um conjunto de compostos orgânicos designados por extrativos, cuja remoção não afeta significativamente as propriedades físicas e mecânicas do material (Cruz e Nunes 2012). As variações nestas características e das proporções destes componentes e diferenças nas estruturas celulares é que tornam a madeira pesada ou leve, flexível ou rígida e dura ou suave (Wiemann 2010; Asif 2002).

A partir de determinada idade da árvore, normalmente entre os 5 e os 30 anos de vida, consoante a espécie, começa a dar-se a transformação do borne em cerne. Esta transformação desenvolve-se a partir da zona



central do tronco e resulta da morte das células correspondendo a alterações químicas e físicas, traduzidas pela cessação de transporte de seiva e pela formação e deposição de produtos residuais. Geralmente, verifica-se a alteração da cor do lenho, a redução da sua permeabilidade e, na maioria dos casos, também o aumento da durabilidade natural (Cruz e Nunes 2012).

A madeira é um material complexo devido às suas características, muito variáveis entre as diversas espécies, que dependem de diversos fatores intrínsecos e externos, dificultando assim a previsão do seu comportamento e a determinação das suas propriedades. As características que definem as propriedades deste material podem ser organizadas da seguinte maneira (Nero sem data apud Sousa 2003):

**I. Características anatómicas:**

- traqueídeos, vasos, fibras, parênquima, raios, etc;
- cor, fio, textura;
- defeitos.

**II. Características físicas:**

- humidade, densidade, retração.

**III. Características mecânicas:**

- compressão, tração e corte axiais;
- compressão e tração transversais;
- flexão estática e dinâmica;
- fendimento, corte e dureza.

**IV. Características tecnológicas:**

- facilidade de laboração;
- facilidade de secagem e acabamento;
- durabilidade natural;
- facilidade de aplicação de produtos preservadores.

Segundo Asif (2002), a humidade e a densidade são duas das propriedades mais importantes na madeira pela influência que têm noutras propriedades físicas e mecânicas. Por exemplo, no caso da humidade, a quantidade de água na madeira afeta a sua massa, suscetibilidade de degradação, permeabilidade, resistência, propriedades de transferência de calor, adesão e estabilidade dimensional. De uma forma geral, as propriedades da madeira dependem de diversos fatores tais como espécie, geografia (local de crescimento da árvore), condições de crescimento e da dimensão da árvore na altura de abate. Outros tipos de fatores (e.g. secagem e processo de fabrico) também são importantes na avaliação dos elementos compostos por madeira.

As árvores podem ser divididas em duas classes distintas, nomeadamente, em resinosas e folhosas, caracterizando-se da seguinte forma (Morrell 2013; Senft 2002; Forest Products Laboratory - USDA 2010; Sousa 2003):

- **Resinosas** – árvores pertencentes ao grupo botânico das gimnospérmicas, geralmente coníferas, sendo caracterizadas por apresentarem uma folhagem permanente e em forma de agulhas ou escamas (e.g. pinheiro bravo);
- **Folhosas** – árvores pertencentes ao grupo botânico das angiospérmicas e são caracterizadas pelas sementes se encontrarem na flor e por apresentarem uma folhagem caduca de forma plana e larga (e.g. sobreiro).

A madeira é um material que se diferencia dos restantes materiais de construção devido à sua estrutura fibrosa heterogénea e anisotrópica. A heterogeneidade da madeira deve-se sobretudo aos anéis de crescimento (anéis de Primavera e de Outono) que, para além registarem a idade da árvore, servem também de referência no estudo da anisotropia e na avaliação do desempenho físico e mecânico do material. A constituição e a orientação das fibras da madeira exigem que a avaliação físico-mecânica deva ser analisada segundo a direção axial (ao longo do eixo da árvore), a direção radial e direção tangencial (Cruz e Nunes 2012; Sousa 2003).

Por vezes, devido a interrupções do crescimento provocado por períodos de seca, ataques de pragas ou abalos sofridos pela árvore, criam-se falsos anéis de crescimento ou deslocamentos de anéis. Este fenómeno pode provocar anomalias no material que alteram o seu comportamento físico-mecânico.

Assim, sendo a madeira um material orgânico, os principais agentes de degradação devem-se à sua natureza que pode levar à podridão do material. O fogo é, sem dúvida, o maior agente destrutivo da madeira visto que é um material combustível, alimentando a combustão e sendo consumido pelo fogo (Cruz e Nunes 2012). No entanto, não é um mecanismo de deterioração muito frequente e preocupante na conservação das caixilharias de madeira. As principais causas de degradação podem ser definidas em fenómenos de natureza física, química, mecânica ou biológica, sendo possível considerar como ações isoladas ou em combinação (Morrell 2013; Nunes 2001 apud Sousa 2003; Cruz e Nunes 2012; de Brito, Sousa, e Pereira 2006). Estes mecanismos de deterioração podem ser organizados da seguinte forma:

- **Condições ambientais:**
  - Humidade;
  - Temperatura;
  - Radiação;
  - Vento.
- **Agentes biológicos:**
  - Bolores;
  - Fungos de podridão;
  - Bactérias;
  - Insetos xilófagos.
- **Ação humana:**
  - Manutenção;
  - Utilização e turismo;

- Vandalismo;
- Poluição.

Através da Tabela 2.5, apresenta-se resumidamente os mecanismos de degradação da madeira e suas principais características.

**Tabela 2.5 – Mecanismos de deterioração da madeira (adaptado de Mirza 2006)**

<b>Fenómeno</b>	<b>Locais comuns de ocorrência</b>	<b>Causa primária</b>	<b>Causa secundária</b>
Condições ambientais	Superfície do elemento ou próximo de zonas superficiais (pouca profundida)	Erosão climática provocada pelo impacto de areias, neve ou chuva	Superfícies sem proteção (pintura ou velatura)
Fendas	Superfície de contacto entre o lenho de primavera e outono	Degradação da lenhina devido a radiação e exposição solar	Variações de humidade provocadas pela precipitação
Degradação térmica	Zonas de ligação dos elementos de madeira	Temperaturas elevadas; proteções impermeáveis	Variação de humidade
Degradação química	Zonas de ligação dos elementos de madeira	Humidade, sais e outros químicos	Meio ambiente agressivo
Variações dimensionais	Qualquer elemento de madeira aplicado no exterior	Exposição à precipitação; variação da humidade relativa	Ciclos de molhagem/secagem
Fungos de podridão	Qualquer estrutura de madeira (e.g. caixilharias, coberturas)	Humidade; temperatura	Ciclos de molhagem/secagem; fraca manutenção
Térmitas e outros insetos	Pavimentos ou elementos próximos do solo	Humidade; podridão; tipo de madeira	Localização e microclima

### **Humidade**

A humidade atinge as caixilharias de madeira de várias formas. No entanto, a humidade proveniente da precipitação demonstra ser a que tem maior expressão na degradação nas portas e janelas de madeira. A penetração desta humidade nos elementos ocorre sobretudo em áreas danificadas ou sem uma proteção adequada e devido à higroscopicidade do próprio material. Nas guarnições dos vãos, a água também consegue-se infiltrar pelas superfícies em contacto com alvenarias ou cantarias húmidas localizadas em zonas de acumulação de água (e.g. varandas, terraços, pátios) (Sousa 2003; de Brito, Sousa, e Pereira 2006).

As variações do teor de humidade na madeira, causadas pela precipitação, provocam dilatações e retrações originando deficiências nos elementos dos vãos e na sua vedação. Em consequência, pode ocorrer esmagamentos das peças da caixilharia causando degradação significativa sobretudo ao nível da pintura ou velatura, no entanto, em casos extremos, fraturas ou deslocamentos também podem acontecer. Os elementos das caixilharias de madeira podem estar sujeitas ao aparecimento de outras anomalias devido às variações de humidade, tais como, empenos e fendas.

Na Tabela 2.6, apresenta-se valores do teor de humidade da madeira em função das condições típicas de humidade relativa e temperatura em Portugal. As diferenças do teor de humidade da madeira são originadas pelas diferenças climáticas entre o Inverno (mais húmido e frio) e o Verão (mais seco e quente). Geralmente,

estas variações de humidade são responsáveis pelas variações dimensionais em elementos de madeira situados no interior podendo provocar empenos, fendas, bolores ou fungos.

**Tabela 2.6 – Humidade na madeira devido a fenómenos de higroscopicidade (Nero sem data apud Sousa 2003)**

Humidade Relativa (%)	Temperatura (°C)					
	5	10	15	20	25	30
90	22,5	22	22	21,5	21,2	21
85	19,8	19,5	19,4	19	18,8	18,5
80	17,1	17	16,8	16,5	16,3	16
75	15,5	15,4	15,2	14,9	14,7	14,4
70	13,8	13,7	13,5	13,3	13,1	12,8
65	12,7	12,6	12,4	12,3	12,1	11,8
60	11,6	11,4	11,3	11,2	11	10,8
55	10,7	10,7	10,4	10,2	10,1	9,9
50	9,7	9,6	9,5	9,3	9,2	9

A humidade também é responsável pelo aparecimento de agentes degradadores biológicos, sobretudo para teores de humidade superiores a 20%, como por exemplo, bolores, fungos ou térmitas. Na EN 335-2 (2006) apresenta-se classes de risco de ataque de agentes biológicos com base no teor de água na madeira (Tabela 2.7). O risco de ataque depende dos agentes biológicos presentes e da localização elemento de madeira. Para além destes fatores, a conservação do material também está ligada à sua durabilidade natural (resistência natural da madeira ao ataque por organismos vivos) e à sua impregnabilidade.

**Tabela 2.7 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (adaptado de EN 335-2 2006).**

Classe de Risco	Situações gerais de serviço	Exemplos de aplicação	Exposição à humidade Teor de água da madeira	Agentes biológicos relevantes
1	Interior seco	Pavimentos, lambris	Seca Máxima de 20%	Carunchos
2	Interior com risco de humedificação	Estruturas de cobertura, estruturas de parede	Ocasionalmente > 20%	Caruncho Térmitas Fungos e bolores
3	3.1 Exterior, sem contato com o solo e protegido	Caixilharias exteriores	Ocasionalmente > 20%	Carunchos Térmitas Fungos
	3.2 Exterior, sem contato com o solo e não protegido	Decks sem contacto com o solo, pérgolas, painéis de vedação, soletos de madeira ( <i>shingles</i> )	Frequentemente > 20%	Podridão castanha e podridão branca
4	4.1 Exterior, junto de / em contacto com o solo e / ou água doce	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas	Predominantemente ou permanentemente > 20%	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos, podridão castanha, podridão branca e podridão mole
	4.2 Exterior, enterrado no solo e/ou água doce	Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	Permanentemente > 20%	
5	Em água salgada	Pontões, fundações em água salgada	Permanentemente > 20%	Xilófagos marinhos

### **Temperatura**

As caixilharias de madeira usualmente apresentam perda de resistência, peso ou massa e estabilidade dimensional sob a influência da degradação térmica. A degradação com origem nas variações de temperatura mais relevante deve-se quando proteções impermeáveis são aplicadas nas caixilharias. Nestes casos, regista-se o aparecimento de acumulação de humidade, entre superfície da madeira e a pintura ou velatura, devido à evaporação e condensação da humidade provocado pelos gradientes térmicos do interior e exterior dos elementos. Este fenómeno provoca apenas uma deterioração indireta, ou seja, os mecanismos de degradação resultam de um aumento de humidade na madeira (Sousa 2003; de Brito, Sousa, e Pereira 2006; Richardson 1980 apud Sousa, Pereira, e Meireles 2015).

### **Radiação**

A componente ultravioleta da radiação é a principal responsável pela degradação das superfícies das caixilharias de madeira, causando descoloração da madeira, deterioração dos esquemas de pintura ou velaturas e tornando as massas das caixilharias quebradiças (Sousa 2003).

A exposição direta dos ultravioletas é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos da madeira, sobretudo a lenhina (resina responsável pela aglomeração das fibras da madeira) e perda de coesão entre as fibras e em consequência, com a lenhina enfraquecida, outros componentes da madeira ficam expostos a outros agentes de degradação como o vento e a precipitação (Morrell 2013). Em Daniel et al. (2004), refere-se que um elemento de madeira de pinho, sem proteção contra os UV, escurece em menos de um mês apresentando uma cor cinzenta devido à perda de coesão e lixiviação da madeira.

No entanto, a incidência dos infravermelhos aquecem a madeira tendo influência nas variações temperatura provocando fendas e outras anomalias (Oliveira 2008).

### **Vento**

A ação do vento é responsável pela erosão superficial, por defeitos nos acabamentos das caixilharias e, por vezes, quebras das peças mais esbeltas ou vidros devido ao arrasto de partículas sólidas e da pressão exercida nos elementos. A ação da temperatura ou da precipitação combinada com o vento incrementa significativamente o poder de deterioração das caixilharias de madeira.

### **Bolores**

Os bolores desenvolvem-se em caixilharias situadas em locais húmidos e pouco ventilados, sendo o seu crescimento possível tanto em superfícies expostas como no esquema de pintura. As anomalias características originadas pelos bolores são apenas de carácter estético, como por exemplo, manchas verdes, cinzentas, pretas ou amarelas (Sousa 2003).

### **Fungos**

Os fungos que atacam a madeira podem ser divididos em dois tipos: fungos cromogéneos; e fungos de podridão. A primeira espécie provoca apenas manchas na madeira, usualmente de cor azul, alterando a sua aparência e aumentando da sua permeabilidade.

Os fungos de podridão têm um efeito mais profundo nas características da madeira, pois, podem alterar a sua constituição atacando a lenhina, celulose ou hemiceluloses. Geralmente, encontram-se no interior da madeira onde os níveis de humidade são mais estáveis. Neste tipo de fungos destacam-se as principais espécies (Morrell 2013):

- **Fungos de podridão castanha (*Brown rot fungi*):** atacam preferencialmente a celulose e a hemiceluloses, modificando a matriz da madeira, podendo causar uma perda de massa entre 60-70%. Usualmente, este tipo de fungos encontram-se em madeiras resinosas, contudo, também podem atacar qualquer tipo de madeira. A madeira torna-se mais quebradiça e apresenta um aspeto mais escuro;
- **Fungos de podridão branca (*White rot fungi*):** alimenta-se das três componentes da madeira podendo causar uma perda de massa até aos 97%, provocando a perda de propriedades mecânicas. Em estados de degradação avançada, estes fungos deixam a madeira numa cor branca, idêntica ao da lixívia. Apesar de se manifestarem em todos os tipos de madeira, a sua ação é mais agressiva em madeiras folhosas;
- **Fungos de podridão branda (*Soft rot fungi*):** atingem preferencialmente a celulose e a hemiceluloses mas o seu modo de ataque difere dos fungos de podridão branca e castanha. Estes fungos desenvolvem-se normalmente na superfície da madeira ou em locais de humidade extrema onde os níveis baixos de oxigénio limitam o aparecimento das outras espécies fungos. Os fungos de podridão branda podem causar a diminuição da resistência do elemento e o seu ataque ocorre na superfície da madeira.

Como se pode observar pela Tabela 2.7 (em Humidade), para os fungos se desenvolverem é necessário a presença de um teor de humidade na madeira superior a 20%.

### **Bactérias**

As bactérias colonizam-se na madeira húmida provocando um aumento da permeabilidade da madeira ou degradando a lenhina ou a celulose. Apesar da sua ação, geralmente, não causar uma degradação significativa, torna a superfície da madeira mais porosa, possibilitando uma maior infiltração da água na madeira. Este efeito favorece o desenvolvimento de outro tipo de fungos mais agressivos para a madeira (Richardson 2001; Morrell 2013).

### **Insetos xilófagos**

Os insetos que atacam a madeira podem ser de diferentes espécies, tendo também modos de ação e indícios de atividade diferentes. Normalmente, os insetos xilófagos abrem galerias ao longo da madeira, sendo responsáveis por perdas de resistência significativas.

De entre os insetos xilófagos atuantes em Portugal, as térmitas subterrâneas são aquelas que apresentam maiores dificuldades de diagnóstico devido à escassez de sintomas externos de atividade. O ataque das térmitas processa-se no interior das peças de madeira húmida, dificultando a sua deteção, e tem como consequência a diminuição de volume do material lenhoso. A identificação deste agente xilófago faz-se pelo

aspecto laminado da madeira, resultante sobretudo da destruição das camadas de primavera (Cruz e Nunes 2012). Outro tipo de térmitas são as térmitas de madeira seca atacam elementos com teores de humidade inferiores a 12% (Morrell 2013).

Na Tabela 2.8, apresenta-se as características identificadoras de ataque de insetos de ciclo larvar completo, vulgarmente designados por carunchos.

**Tabela 2.8 - Características identificadoras do ataque de caruncho (adaptado de Cruz e Nunes 2012)**

Inseto	Habitat	Sintomas		
		Orifícios de saída	Serrim	Outros
<i>Cerambycidae</i>	Resinosas	Ovais com 6 a 10 mm	Serrim granuloso que surge, quer junto dos orifícios de saída, quer a compactar as galerias formadas pelas larvas no interior da madeira	Empolamento da superfície da madeira, particularmente quando existe um revestimento de pintura
<i>Anobidae</i>	Resinosas e Folhosas	Circulares com 1 a 3 mm	Montículos de serrim, formados por pequenos grânulos elipsoidais	Muitas vezes associado a madeiras mais velhas e já com ataques por fungos de podridão
<i>Lictidae</i>	Folhosas ricas em amido	Circulares com 1 a 2 mm	Serrim muito fino, semelhante a farinha, que forma pequenos montículos	-

### **Ação humana**

A degradação das caixilharias de madeira causada pela ação humana deve-se sobretudo pela desvalorização da sua conservação e preservação sendo, usualmente, a sua manutenção também esquecida e, por consequência, o seu estado de degradação evolui até níveis bastantes elevados. A configuração geométrica e os detalhes de construção e montagem também têm influência na degradação das caixilharias que apenas dependem da qualidade da mão-de-obra.

As caixilharias exteriores também estão sujeitas a atos de vandalismos, nomeadamente a quebras de vidros por tentativa de intrusão ou *graffitis*, e à ação de deterioração causa pela poluição, usualmente, causada pelos gases libertados pela queima dos combustíveis fósseis (Sousa 2003).

### **2.5.3. Desempenho da pintura**

A longo prazo, as caixilharias exteriores de madeira devem estar protegidas dos seus agentes de degradação de forma a preservar os seus elementos ao longo da sua vida útil. A proteção da madeira, usualmente, é feita através da aplicação de um esquema de pintura, ou velatura, tendo as seguintes funções: a primeira função deve-se à proteção da madeira dos seus mecanismos de deterioração, sobretudo, de ações climáticas; a segunda função foca-se no aspeto estético do elemento de madeira dando uma aparência agradável e colorida (Ekstedt 2002).

A pintura aplicada em caixilharias de madeira exteriores também se encontra sujeita a mecanismos de degradação que reduzem as capacidades de proteção e empobrecem o seu aspeto estético. Segundo Asif (2002), os principais agentes de deterioração são (Figura 2.7): i) radiação; ii) humidade; iii) temperatura; iv)

poluição; e v) oxidação. No entanto, o esquema de pintura não tem a capacidade de proteger a madeira de certos mecanismos de deterioração biológicos, como por exemplo, o caruncho.

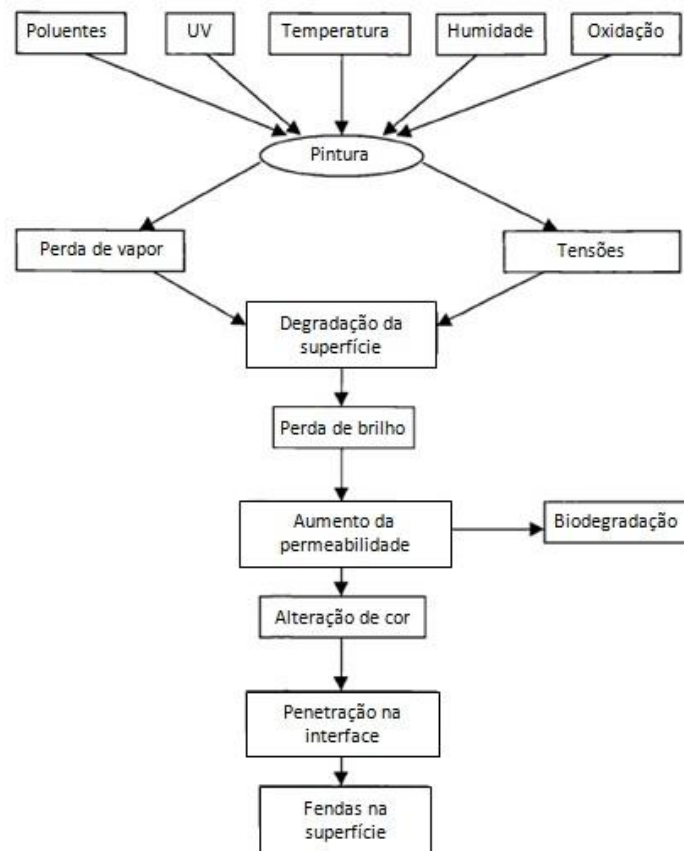


Figura 2.7 – Sequência de eventos durante a degradação da pintura (adaptado de Asif 2002)

A capacidade de repelir a água é uma das características mais importantes no desempenho de pinturas aplicadas em madeiras exteriores. O esquema de pintura deve atuar como uma membrana que impede a água de penetrar na madeira e, em simultâneo, que permite a humidade existente no interior da madeira sair para o exterior, ou seja, deve ser permeável ao vapor de água. Desta forma, evita-se que o teor de humidade na madeira seja superior a 20% evitando a deterioração (Nejad 2011). Caso ocorra infiltração de água, a madeira pintada encontra-se sujeitas a ciclo de secagem-molhagem, havendo movimentos no substrato, e acumulação de água na interface das camadas de pintura provocando o seu enfraquecimento dando a origem a perdas de adesão e, por fim, ao seu descasque (Sousa, Pereira, e Meireles 2015; van den Berg 2002).

Outra característica essencial de uma pintura é a sua resistência aos UV formando uma barreira entre os UV e a madeira. A pintura deve ter na sua composição um pigmento estabilizador dos UV de forma a providenciar uma proteção adequada às caixilharias impedindo a sua penetração nas camadas interiores. Porém, a densidade da camada de pintura pode não ser uniforme em toda a caixilharia e, em consequência, a radiação irá provocar contrações desiguais originando fendas e escamação de tinta.

No entanto, para que um esquema de pintura consiga exercer as suas funções é necessário que este seja aplicado de forma adequada evitando o aparecimento de anomalias de execução. Os defeitos mais frequentes devido a uma inadequada composição da tinta e/ou por uma técnica incorreta de aplicação são:



- bolhas;
- fendas;
- descasque da pintura;
- zonas pulverulentas;
- pele de sapo;
- tinta incapaz de secar;
- depressões.

Na Figura 2.8 apresenta-se um esquema com os passos resumidos do processo de aplicação de um acabamento de pintura à base de tinta.

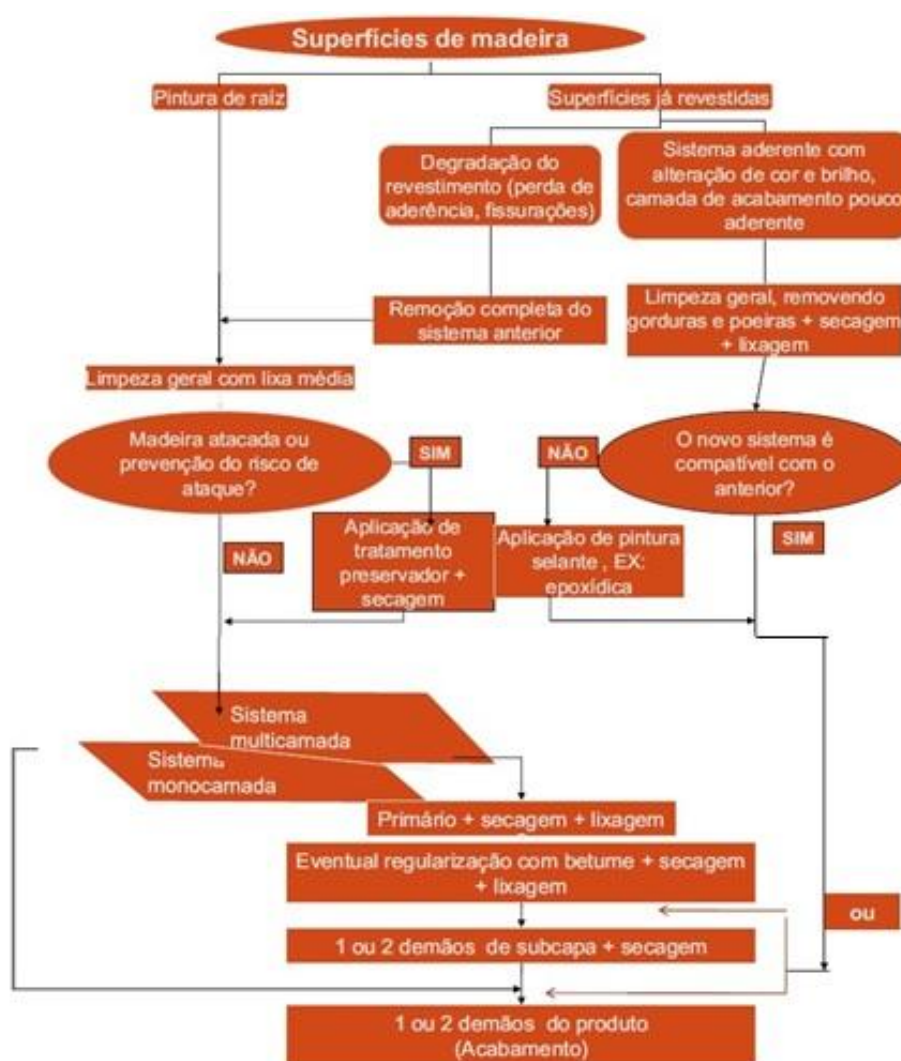


Figura 2.8 – Esquema de pintura com tinta de uma superfície de madeira (Eusébio 2006)

#### 2.5.4. Manutenção e vida útil das caixilharias de madeira

As portas e janelas têm um papel importante na conservação da integridade de um edifício, sendo necessário uma manutenção regular para manterem o desempenho ao longo da sua vida. A manutenção das caixilharias inclui uma limpeza e pequenas reparações, ocasionalmente uma repintura, e atempadamente uma reabilitação das componentes das caixilharias (Forest and Wood Products Australia 2012).

Segundo Sousa (2003), as anomalias das caixilharias podem ser classificadas em função do tipo de intervenção que necessitam dividindo-se nas seguintes categorias: manutenção de rotina; estabilização; e substituição de elementos.

No âmbito das caixilharias de madeira, a estimativa da sua vida útil e a análise à exposição de agentes degradadores são dois fatores importantes para elaborar um plano de manutenção.

No entanto, observa-se que existe alguma discrepância nos resultados obtidos em alguns estudos nos valores da vida útil das caixilharias de madeira. Segundo o estudo de Asif (2002), as janelas apresentam uma vida útil de 39,6 anos. Citherlet, Di Guglielmo, e Gay (2000) estimaram que a vida útil pode chegar até aos 45 anos. Por seu lado, Balaras et al. (2005) observaram que as janelas (51-78 anos) apresentam maior durabilidade face aos agentes degradadores do que as portas (33-62 anos). Marteinsson (2005) analisou 85 janelas de pinho (*Pinus sylvestris*) em Reykjavik, Islândia, estimando uma vida útil de 42 anos. Segundo Menzies (2013), as caixilharias situadas em meio ambiente brando podem durar até aos 65 anos, moderado até 59 anos e em meios ambientes severos até aos 56 anos, tendo um ciclo de manutenção de períodos de 5-7 anos.

Contudo, não é possível realizar-se uma comparação direta entre os valores obtidos pelos vários autores devido aos seguintes aspetos (Alfredsen et al. 2016):

- a durabilidade própria da madeira pode variar entre as várias espécies;
- existem variações entre os sistemas de proteção da madeira;
- o desempenho da madeira e sua proteção dependem das condições climáticas e dos organismos de degradação do local;
- pode haver falhas durante a construção dos elementos proporcionando uma redução significativa na sua vida útil, quando comparado com elementos bem desenhados e construídos.

Segundo Asif, Muneer, e Kubie (2005), as caixilharias de madeira devem ser pintadas regularmente de maneira a manter o seu aspeto estético e o seu nível de proteção contra os agentes de degradação. Para vãos situados no exterior, recomenda-se pinturas de ciclos de 5 anos e no caso de caixilharias interiores, os ciclos podem ser 10 ou mais anos, dependendo das preferências pessoais.

De acordo com Suttie e Thorpe (2004), o plano de manutenção dos esquemas de pinturas baseia-se num ciclo de intervalos. Para tal, torna-se fundamental compreender e avaliar o desempenho da madeira e da sua proteção contra os mecanismos de deterioração. De acordo com a versão britânica da EN 927-1 (BSI 2013), os ciclos de manutenção dependem do meio ambiente e da sua construção (Tabela 2.9).

**Tabela 2.9 – Períodos de manutenção dos esquemas de pinturas das caixilharias de madeira (adaptado de BSI (2013))**

Construção	Meio ambiente		
	Moderado	Severo	Extremo
Abrigado	8 anos	7 anos	7 anos
Parcialmente abrigado	8 anos	6 anos	5 anos
Desprotegido	7 anos	5 anos	4 anos

Chave das cores do nível de exposição:

Brando	Moderado	Severo
--------	----------	--------

Porém, em Forest and Wood Products Australia (2012) são indicados ciclos de manutenção do esquema de pintura variando entre os 7 e os 10 anos.

Switala-Elmhurst e Udo-Inyang (2014) apresentam um plano de manutenção de caixilharias de madeira para uma vida útil de 100 anos, considerando que a cada 5 anos deve-se fechar as fendas e aplicar uma pintura na face exterior e a cada 25 anos aplica-se uma pintura na face interior.

No trabalho de Sousa (2003) sugere-se que as caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra tenham uma manutenção a cada 4 a 5 anos, consistindo na renovação periódica dos esquemas de pintura e na inspeção dos elementos a ataques de fungos ou insetos xilófagos.

Relativamente à vida útil de um esquema de pintura aplicadas em madeiras exteriores, Davies (2013) menciona que a longevidade de uma pintura varia consoante o tipo de tinta. A vida útil de um óleo de resina artificial (alquídica) é cerca de 6 anos. Uma tinta acrílica pode durar entre 4 a 6 anos e uma tinta à base de óleo de linhaça tem uma vida útil de 15 anos.

De acordo com Oliveira (2008), um esquema de pintura à base de uma tinta tem uma degradação lenta podendo durar entre 3 a 9 anos. Contrariamente, a vida útil de um verniz varia entre 1 a 3 anos devido à sua rápida deterioração.

Contudo, de maneira a reduzir os custos da manutenção das caixilharias de madeira, deve-se ter em conta as seguintes prioridades (Suttie e Thorpe 2004):

- avaliar as práticas das intervenções e identificar possíveis melhorias;
- a educação e o treino são fundamentais para assegurar uma mão-de-obra qualificada;
- garantir o desempenho do esquema de pintura e da mão-de-obra;
- extensão dos intervalos de manutenção através do desenvolvimento de um planeamento estratégico, por exemplo, para as caixilharias mais expostas (geralmente a Sul e Oeste) realizar-se um ciclo de 4 anos e outro ciclo de 8 anos que envolva todos os vãos.

Em conclusão, de forma a garantir uma gestão otimizada da manutenção de portas e janelas de madeira é fundamental ter em consideração os seguintes componentes:

- características e especificações dos materiais;
- avaliar o desempenho dos materiais deteriorados;
- técnicas e métodos de reabilitação;
- elaborar um planeamento a longo prazo da manutenção.



## **3. Metodologia**

### **3.1. Abordagem integrada**

A metodologia proposta na presente dissertação pretende constituir uma abordagem de apoio à tomada de decisão em intervenções de reabilitação de componentes do património edificado, tendo em consideração os custos do ciclo de vida. Nesta metodologia considera-se os componentes selecionados de forma isolada, não tendo em consideração a função que os mesmos desempenham no subsistema em se integram nem no sistema global a que pertencem. Este método também não incorpora constrangimentos para além do nível máximo de degradação aceitável, como por exemplo, limitações orçamentais que obriguem a estabelecer prioridades de intervenção.

A metodologia incorpora quatro componentes principais designadamente:

- o estabelecimento do contexto;
- a previsão da degradação;
- a determinação dos custos;
- e a análise financeira.

De forma a permitir a melhoria da metodologia, a sua implementação deve ser suportada por uma melhoria contínua de maneira a garantir o registo contínuo dos aspetos relevantes que permitam otimizar os seus componentes, tais como, a determinação dos custos e a previsão da degradação.

### **3.2. Estabelecimento do contexto**

As infraestruturas devem satisfazer, no seu todo e nas partes separadas de que se compõem, em condições normais de manutenção, os requisitos básicos durante um período de vida útil economicamente razoável. Na prática, por vezes a degradação total dos componentes do património construído não é aceitável. Desta forma, é necessário definir a condição limite aceitável podendo resultar de imposições legais, regulamentares, contratuais ou outros. Neste contexto, o Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho (2011) enumera os requisitos essenciais podendo estes ser organizados nas categorias de:

1. resistência mecânica e de estabilidade;
2. segurança em caso de incêndio;
3. higiene, de saúde e ambiente;
4. segurança na utilização;
5. proteção contra o ruído;
6. economia de energia e de isolamento térmico;
7. utilização sustentável dos recursos naturais.

Estes limites estão, na generalidade, documentados em normas, regulamentos, contratos, projetos, especificações, ou outros documentos de cariz técnico e tendem a evoluir lentamente no tempo.

Complementarmente, os aspetos estratégicos e as políticas das organizações e/ou indivíduos, as questões de imagem e reputação, a carga simbólica, social e cultural podem tornar os limites ainda mais restritivos. Estes aspetos podem estar patentes em documentos internos das organizações ou, muitas vezes, subsistem informalmente no discurso e escolhas dos indivíduos envolvidos nos processos decisórios.

Definida a condição limite aceitável, é possível a identificação e caracterização de soluções de intervenção possíveis em função da condição do componente. Esta identificação pode ser livre, sendo um processo dinâmico que avalia as evoluções tecnológicas, ou estrangida a uma ou conjunto de alternativas ilegíveis.

### 3.3. Previsão da degradação

A previsão da degradação dos materiais e dos componentes dos edifícios tem demonstrado grande expressão na investigação ligada à indústria da construção. O procedimento básico da previsão da deterioração dos materiais e componentes inclui a identificação do problema, a recolha de informação necessária para definição do estudo, a interpretação dos dados e a realização do relatório dos resultados. Na Figura 3.1 apresenta-se um diagrama dos procedimentos para elaborar um modelo de deterioração.

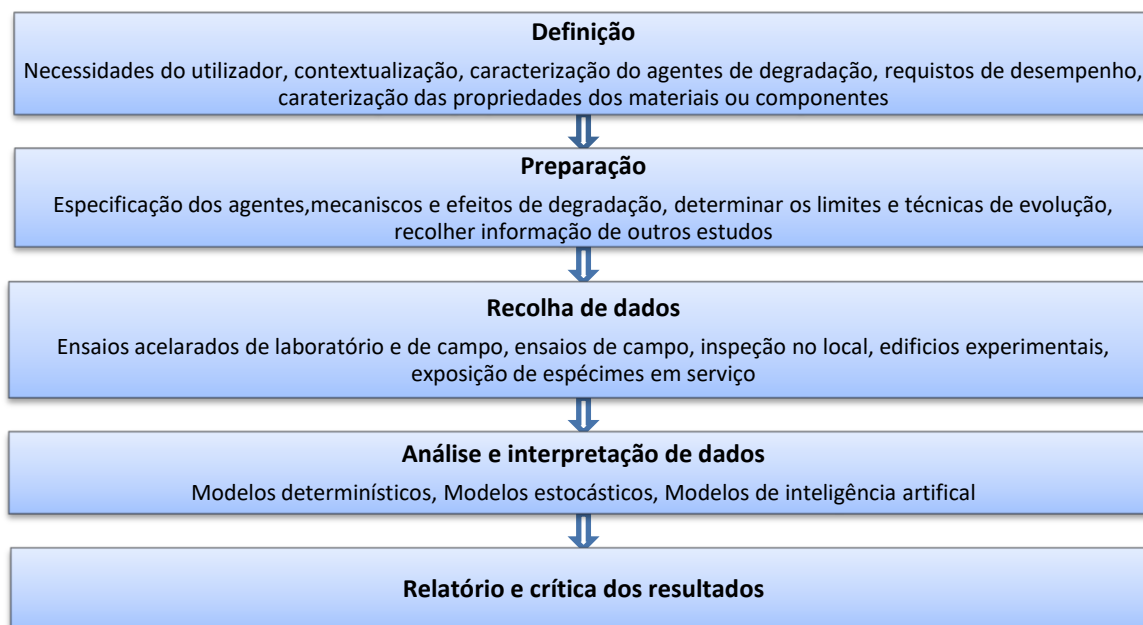


Figura 3.1 – Diagrama da metodologia da previsão da degradação (adaptado de ISO 2008d)

#### 3.3.1. Definição e preparação

Na fase de definição é estabelecido o âmbito do estudo a desenvolver definindo-se os materiais em análise e as suas características, o seu contexto de aplicação, as condições ambientais e os possíveis fatores de degradação.

De seguida, na fase de preparação, verificam-se os agentes e mecanismos de degradação e possíveis anomalias, seleccionam-se os ensaios a realizar na fase de recolha de dados e determinam-se o modelo de análise de dados e a escala de degradação tendo em consideração os valores de entrada e de saída. A escala apresenta tipicamente vários níveis de degradação que descrevem o estado em que se encontram ou as anomalias presentes, podendo também pormenorizar o tipo de trabalhos de reabilitação a realizar. O estudo

de trabalhos anteriormente publicados é um complemento importante nesta fase pois, entre outros aspetos, serve de guia na escolha do tipo de modelo de degradação para os agentes de deterioração presentes na análise.

### 3.3.2. Recolha dos dados

Após a identificação dos materiais ou componentes em estudo e dos fatores e mecanismos de degradação, procede-se à avaliação do comportamento desses elementos. Durante a fase da recolha de dados pretende-se obter a informação necessária sobre os agentes e mecanismos de degradação, as anomalias que os elementos apresentam e a influência que os fatores de degradação apresentam na evolução da condição do material ou do elemento. Segundo a ISO (2008d) existem duas metodologias de recolha de dados:

- **Métodos de longo prazo:** procura-se recolher dados a partir de observações da degradação real dos materiais e componentes quando expostos em condições de serviço a longo prazo. Deste modo, observa-se as verdadeiras taxas de degradação sendo uma vantagem a utilização direta dos dados recolhidos para a elaboração de previsões de degradação. As técnicas utilizadas nesta metodologia são os ensaios de campo, inspeção no local, edifícios experimentais e exposição de espécimes em serviço.
- **Métodos de curto prazo:** submete-se provetes de materiais ou componentes, idênticos ao do estudo, a condições de exposição mais severas do que aquelas que seriam encontradas na realidade, ou seja, os fatores de degradação ocorrem com maior intensidade ou por ciclos mais rápidos. Assim, a deterioração expectável do elemento pode ser observada num curto prazo de tempo, muito inferior ao normal de utilização. As técnicas utilizadas nesta metodologia são os ensaios acelerados de laboratório e ensaios acelerados de campo.

Nesta fase, também se consegue atribuir o estado de degradação aos elementos no período do seu levantamento através da escala definida na fase anterior. A caracterização dos elementos do estudo deve conter o máximo de informação possível através de atributos associados à situação de estudo, como por exemplo:

- orientação solar – Norte, Sul, Este ou Oeste;
- tipologia - e.g. janela, porta, superfície;
- dimensões – e.g. altura, largura, volume;
- intervenção recente – “Sim” ou “Não” e data da última intervenção;
- nível de exposição – e.g. direta ou indireta, abrigado;
- nível de degradação – respetivo a cada período de observação;
- características associadas aos agentes de degradação - e.g. ângulo de incidência da precipitação.

No entanto, como os modelos de previsão da degradação, geralmente, são elaborados em função do tempo, é necessário recolher informação, nomeadamente, do estado de deterioração em vários períodos. Desta maneira, consegue-se monitorizar e prever a evolução da degradação do material ou da componente desde do período inicial até ao fim da sua vida útil.

### 3.3.3. Análise e interpretação de dados

Após a caracterização dos elementos recolhidos é necessário validar quais são os dados se encontram em condições de representar o modelo de deterioração, no entanto, certos elementos contêm atributos que desvirtuam os resultados finais. Numa situação onde um elemento de análise se encontra abrigado, a intensidade e a velocidade de degradação vão ser muito inferiores quando comparado com um elemento exposto diretamente a uma ação de degradação. Assim, tipicamente, os dados que tendem a falsear a análise final são retirados da amostra de maneira a não comprometer o resultado. Por fim, toda a informação obtida é utilizada para construir o modelo de degradação, previamente selecionado na fase de preparação, em função do tempo conseguindo-se assim monitorizar a condição limite aceitável imposta pelo âmbito do estudo.

### 3.4. Determinação dos custos

A ISO (2008a) aponta que os custos do ciclo de vida são compostos pelas seguintes parcelas: i) custos de construção; ii) custos de operação; iii) custos de manutenção; e iv) custos de fim de vida. Pela Figura 3.2 pode-se constatar que cada uma destas parcelas pode ser analisada em diferentes fases do ciclo de vida.

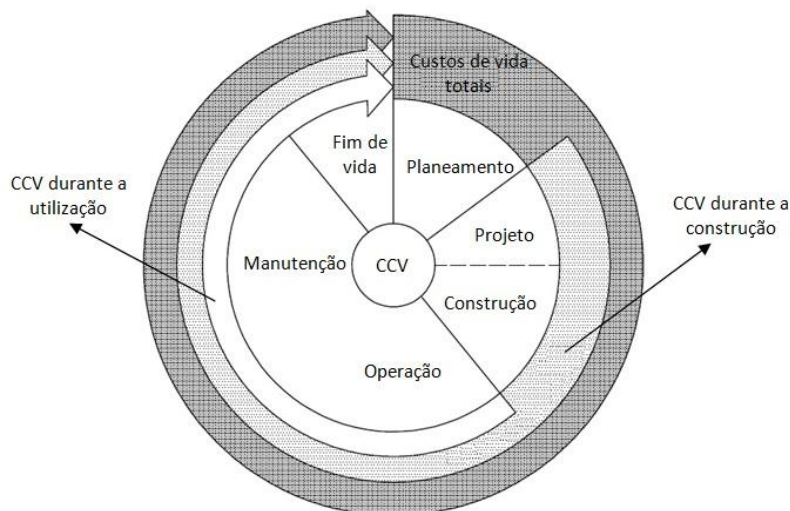


Figura 3.2 – Análise das diferentes fases dos custos ciclo de vida (adaptado de ISO 2008a)

Por vezes, algumas parcelas podem ser analisadas em diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento, como por exemplo, os custos de operação ou de manutenção. Esta situação acontece devido à finalidade do empreendimento, isto é, se uma infraestrutura, durante a fase de utilização, for gerida pelo dono de obra (e.g. hotel, aeroporto), existe interesse em avaliar os custos de operação e manutenção durante a fase projeto. Caso contrário, estes custos não apresentam interesse de análise durante o processo de construção.

#### 3.4.1. Planeamento

A fase de planeamento é considerada apenas uma fase estratégica que serve sobretudo para identificar e definir quais os custos e requisitos a ter em consideração durante as fases seguintes, tendo em consideração o âmbito do empreendimento. Todavia, a fase de planeamento pode ser também aplicado a um infraestrutura já em fase de utilização (e.g. numa obra de reabilitação) começando um novo ciclo contínuo (Figura 3.3).





Figura 3.3 – Requisitos ao longo do ciclo de vida (adaptado de ISO 2008a)

### 3.4.2. Projeto

Durante a fase de projeto, a estimativa dos custos pode apenas representar os custos durante a construção do empreendimento ou, por vezes, tem-se também em consideração os custos de durante a utilização, sendo sempre numa perspetiva do dono de obra.

Durante a fase de elaboração do projeto, segundo Dias (2012) e Popescu et al. (2003), as metodologias geralmente utilizadas para calcular a estimativa de custos são a abordagem Custo Unitário de Área de Construção e a abordagem Custo Unitário dos Trabalhos a Realizar.

A primeira metodologia baseia-se em valores por unidade de construção (e.g. m, m<sup>2</sup>) ou por número de unidades de referência (e.g. número de carros num parque de estacionamento, número de pessoas numa escola). Os valores são determinados através de um histórico de obras semelhantes ou de um estudo elaborado com base estatística e/ou em funções matemáticas. Esta abordagem é essencialmente utilizada numa fase embrionária do projeto onde ainda não estejam disponíveis as medições dos trabalhos a realizar.

Na abordagem Custo Unitário dos Trabalhos a Realizar são consideradas duas variáveis, nomeadamente a quantidade de um trabalho específico e o preço unitário para se executar essa tarefa. Esta metodologia é aplicada quando o mapa dos trabalhos a realizar do projeto se encontra bem definido. Os valores unitários são estabelecidos, maioritariamente, através de preços executados em situações semelhantes.

No âmbito destas duas metodologias apresentadas, existem algumas ferramentas e técnicas desenvolvidas com objetivo de incrementar a precisão do valor da estimativa de custos inicial de forma a diminuir os desvios custos no final da construção. Evans et al. (Sem data), apresenta um estudo onde identifica um número de métodos que têm sido usados na elaboração da estimativa de custos dando um exemplo de como os métodos podem ser categorizados e representados. Através do estudo de Evans et al. (Sem data), de PMI (2008) e de Turner (2008) elaborou-se a Tabela 3.1 classificando, de forma resumida, as ferramentas mais usuais na realização da estimativa de custos.

Tabela 3.1 - Classificação de Métodos de Estimativa de Custos (Adaptado de Evans et al. (Sem data), de PMI (2008) e de Turner (2008))

Tipo	Método	Descrição	Vantagens	Limitações
Pericial	Opinião de um Perito	É um processo onde um especialista elabora a estimativa de custos com base na sua experiência de projetos semelhantes anteriores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápido de produzir</li> <li>• Flexível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suscetível a uma tendência</li> <li>• Pouca estrutura</li> <li>• Cada especialista utiliza o seu mecanismo</li> </ul>
Estatístico	Paramétrico	Utiliza relações estatísticas entre um histórico e outras variáveis (e.g. m <sup>2</sup> de construção) e associa a um algoritmo matemático.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deixa claro a influência dos parâmetros nos custos</li> <li>• Objetivo e reutilizável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parâmetros que não são incluídos podem se tornar importantes</li> <li>• Método simplista</li> </ul>
	Redes Neurais	Têm o conhecimento do impacto de cada atributo através de uma análise automática de uma base de dados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimativa precisa devido ao nível de detalhe</li> <li>• Pode ser atualizado e reciclado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A lógica não é visível</li> <li>• Complexo</li> <li>• Requer grande base de dados para ser eficiente</li> </ul>
	Raciocínio baseado em Casos	Utiliza uma base de dados de casos anteriores reconstituindo uma situação semelhante ao problema presente gerando uma solução através de um caso anterior	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propõe soluções rapidamente</li> <li>• Desempenha um papel de forma coletiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisa de um caso que seja confiável</li> <li>• Não gera soluções inovadoras</li> </ul>
	Comparativo ( <i>Top Down</i> )	Através de projetos anteriores consegue-se extrapolar os custos compensando as dimensões, o âmbito ou o risco.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propõe soluções rapidamente</li> <li>• Desempenha um papel de forma coletiva</li> <li>• Flexível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não gera soluções inovadoras</li> <li>• Requer grande base de dados para ser eficiente</li> </ul>
	Custos baseado no traçado	Relaciona o traçado CAD/CAM com informação sobre os custos para uma estimativa inicial durante a fase do projeto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a integração do CAD/CAM com informação de custos</li> <li>• Pode ser automatizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem consenso sobre o que são as características</li> <li>• Requer um grande número de recursos para ser implementado</li> </ul>
	Conhecimento baseado em Sistemas	Tenta imitar um raciocínio de um perito para estimar os custos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A lógica é visível</li> <li>• Bem estruturado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não gera soluções inovadoras</li> <li>• O conhecimento pode ficar desatualizado</li> </ul>
Analítico	Detalhado ( <i>Bottom Up</i> )	Através do detalho do mapa de trabalhos são calculados os custos de todas as atividade e dos materiais comprados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimativa precisa devido ao detalhe</li> <li>• Os custos detalhados dos trabalhos são uteis para negociar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consome muito tempo a ser realizado</li> <li>• Os dados detalhados podem não estar disponíveis</li> </ul>
	Custo baseado nas Atividades	Idêntico ao método Detalhado mas tem em consideração onde possam ocorrer desvios de custos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resguarda-se de custos imprevistos</li> <li>• Indicam o potencial do lucro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consome muito tempo a ser realizado</li> <li>• Os dados detalhados podem não estar disponíveis</li> <li>• Dificuldade em identificar onde possa ocorrer os desvios de custos</li> </ul>

### 3.4.3. Construção

Após a fase de projeto, os empreiteiros apresentam as propostas de orçamento da obra onde estão descritas os custos e prazos das atividades envolvidas na realização da obra assim como os aspetos técnicos. Depois da entrega do mapa de trabalhos por parte do dono de obra, o empreiteiro irá elaborar um mapa orçamental no qual se encontram os custos totais de mão-de-obra, materiais, equipamentos e subempreitadas para cada operação de construção. Na Figura 3.4 apresenta-se as componentes que caracterizam os custos de obra.

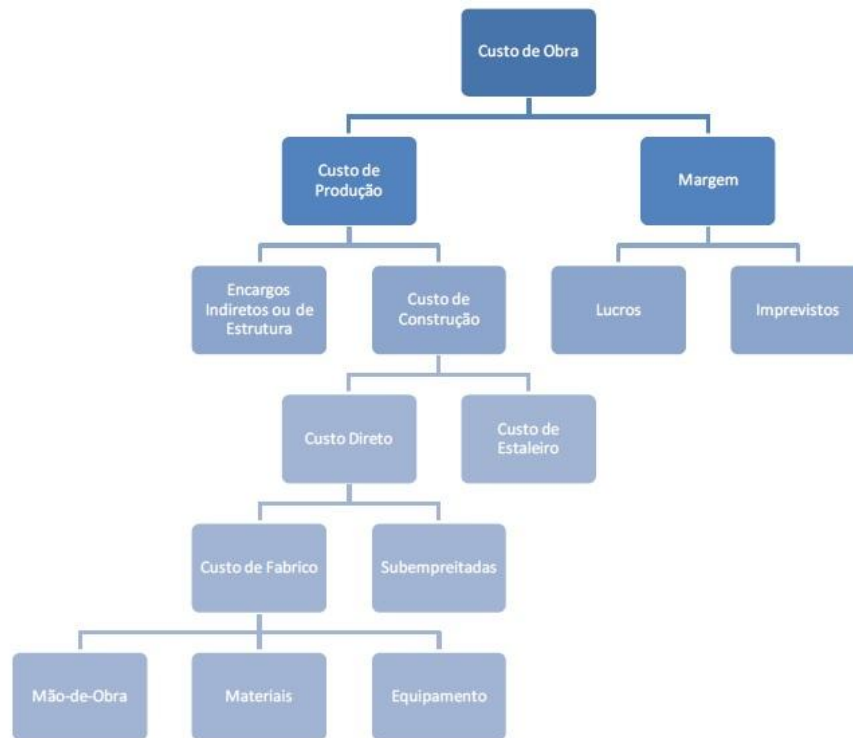


Figura 3.4 – Custos associados à obra (Sousa 2012)

Porém, apenas os custos diretos apresentam interesse para a presente metodologia. Para calcular o valor do custo direto é preciso analisar os custos que o compõem sendo estes, o Custo de Mão-de-Obra, o Custo de Materiais e o Custo de Equipamentos. Através de Dias (2012) e Popescu et al. (2003) apresenta-se o método tradicional do cálculo das três parcelas.

#### **Custo de Mão-de-Obra (MO)**

O custo da mão-de-obra na construção é determinado por dois fatores: custo horário e produtividade ou rendimento. O custo horário é definido pelo vencimento mensal e por encargos de subsídios, Caixa de Previdência, fundo de desemprego, etc. O segundo fator pode ser definido da seguinte forma:

- **Produtividade:** quantidade de trabalho produzida por determinada equipa num dado tempo;
- **Rendimento:** quantidade de tempo de trabalho necessária a realização de uma unidade de trabalho.

Na realidade, estes dois elementos relacionam-se como inverso um do outro. Para uma atribuição acertada dos valores da produtividade ou do rendimento é necessária uma base de dados adequada e uma vasta experiência. A recolha de dados pode ser feita através de medições de tempos de execução de trabalhos (mais adequado para trabalhos não convencionais), de publicações de livros (e.g. fichas de rendimento do LNEC) ou

base de dados criados pelos próprios Empreiteiros. Os valores deste fatores normalmente são valores médios ou padrão, todavia, em alguns projetos estes têm de ser ajustados de maneira adaptarem-se aos mesmo. Assim, o valor de total da mão-de-obra é cálculo pelas Equações (3.1) e (3.2) (adaptadas de Popescu et al. (2003)).

$$\text{Valor total da MO} = \sum_{i=1}^n \text{Total de horas de trabalhos (i)} \times \text{Custo horário(i)} \quad (3.1)$$

Com,

$$\text{Total de horas de trabalhos} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Quantidade de trabalho (i)}}{\text{Produtividade (i)}} \quad (3.2)$$

### **Custo de Materiais (MT)**

Para o cálculo do valor do custo dos materiais é preciso primeiro fazer a recolha da quantidade de material que irá ser necessário. O levantamento exato da quantidade de material pode tornar-se num processo complexo uma vez que para algumas atividades não é possível retirar as dimensões diretamente dos desenhos do projeto. Em adição às quantidades recolhidas deve-se acrescentar uma parcela correspondente a desperdícios certificando que a operação fique completa (e.g. para betonar 100m<sup>3</sup> de betão considera-se 5% de desperdício, logo deve-se produzir 105m<sup>3</sup> de betão). O preço dos materiais pode ser consultado através de fornecedores, de representantes, de fabricantes ou de publicações em catálogos sendo o seu valor normalmente apresentado em preço de unidade por unidade de medida específica do material (e.g. €/m<sup>2</sup>, €/kg, €/litro).

Por fim, segundo Dias (2012) “o custo dos materiais por unidade de medição de uma operação de construção é calculado pelo somatório dos custos de todos os materiais para a sua realização, atendendo-se sempre às unidades a que os custos simples recolhidos no mercado se referem”.

### **Custo de Equipamento (EQ)**

Neste tópico aborda-se o valor do custo de equipamentos representado por máquinas adquiridas ou alugadas (e.g. martelos pneumáticos, camiões, escavadoras) associadas a um custo do seu operador durante o seu processo de construção. Para os equipamentos designados como ferramentas manuais (e.g. martelo, alicate, fita métrica), o valor é geralmente considerado com uma percentagem dos pagamentos e é adicionado aos custos indiretos como despesas gerais de construção. Os custos associados, por exemplo, a combustíveis ou lubrificantes devem ser considerados como MT assim como o custo do operador como MO. Para o cálculo o valor de EQ é preciso ter em consideração o custo horário de utilização e a produtividade do equipamento

### **3.4.4. Operação e Manutenção**

Nas fases de operação e de manutenção a estimativa dos custos depende se estes se encontram integrados na fase de projeto ou não e do seu período de análise, por se caracterizarem como custos futuros. Caso se encontrem associados à fase concessão, os custos de operação e de manutenção são determinados pela

técnica selecionada durante o projeto tendo em consideração o seu valor futuro no tempo presente, para uma melhor comparação das diferentes estratégias a longo prazo.

No entanto, diversas vezes estes custos são calculados apenas na fase de utilização. No caso dos custos de operação, estes são obtidos através dos pagamentos anuais recorrentes associados aos serviços ou a atividades de utilização. A estes custos anuais podem ser englobados alguns custos de manutenção (e.g. manutenção de elevadores). O cálculo valor dos custos de manutenção e reparação num património edificado pode ser abordado de forma semelhante à da fase de projeto. Pela perspectiva do dono de obra, estes custos são usualmente estimados por valores de intervenções idênticas ocorridas no passado servindo de comparação com os orçamentos sugeridos pelos empreiteiros.

### **3.5. Análise financeira**

Perante a existência de diferentes indicadores financeiros que privilegiam diferentes valores, nomeadamente o lucro, a rentabilidade ou a liquidez, é necessário escolher qual o ou os indicadores financeiros que serão utilizados para avaliar financeiramente as alternativas e os cenários possíveis.

A necessidade de calcular a viabilidade de um empreendimento surge nas diversas fases do seu ciclo de vida. Após a fase de planeamento, o resultado do cálculo da viabilidade servirá para se aprovar/autorizar o início da fase do projeto. Neste caso, os dados para o cálculo de viabilidade do empreendimento serão em sua maioria estimados, pois os recursos, âmbito, riscos e outras variáveis de um empreendimento são definidas e confirmadas somente na fase de projeto. Nesta fase, considera-se somente uma viabilidade estimada do empreendimento.

No fim da elaboração do projeto as variáveis que compõem um empreendimento são definidos e confirmados. Assim, os dados para o cálculo de viabilidade do empreendimento são determinados e específicos, sendo possível obter uma viabilidade definitiva e concreta do empreendimento. O resultado do cálculo da viabilidade servirá para a aprovação/autorização do início da execução do projeto.

Durante a execução de um empreendimento, pode surgir a necessidade de se realizar uma mudança. Antes de ser autorizada esta alteração, deve-se identificar e analisar os impactos da implementação da mudança sendo, normalmente, elaborados diversos cenários/estratégias. Assim, para subsidiar a decisão é necessário calcular a viabilidade de cada dos cenários apresentados.

Ao longo da fase de utilização, deve-se realizar uma análise financeira às operações. Por exemplo, a instalação de novas tecnologias podem apresentar melhores rendimentos a níveis económicos. A viabilidade da aquisição de novos serviços ou sistemas deve avaliar se os seus custos (instalação e utilização) proporcionam uma redução dos custos totais, a longo prazo, comparativamente com os custos da solução existente.

O património edificado está sujeito à degradação dos seus elementos e componentes sendo necessário uma manutenção para a sua preservação. No entanto, a necessidade de assegurar a autenticidade histórica limita a possibilidade de recorrer a novas soluções. Mesmo assim, as estratégias de manutenção e reabilitação também

devem ser submetidas a uma análise financeira de modo otimizar o planeamento das intervenções ao nível dos custos, período de análise e limites de degradação.

Perante o fim de vida de um ativo construído ou das suas componentes, deve ser avaliada a viabilidade de um projeto reabilitação antes de se proceder à sua substituição. A reabilitação do edificado preserva o seu valor histórico porém, esta solução por vezes pode ser mais dispendiosa que a sua substituição. Assim, as entidades decisoras devem ter em consideração uma análise financeira das alternativas apresentadas.

## 4. Caso de Estudo: estabelecimento do contexto

### 4.1. Palácio Nacional de Sintra

O Palácio Nacional de Sintra (Figura 4.1), também conhecido como Palácio da Vila, situa-se no centro histórico da vila de Sintra. O seu valor histórico, arquitetónico e artístico tornam este palácio num monumento grandioso e inigualável. De todos os palácios portugueses construídos na Idade Média, apenas o Palácio Nacional de Sintra manteve a essência da sua arquitetura medieval desde meados do século XVI (Parques de Sintra-Monte da Lua 2016; Vieira da Silva 2002a).



Figura 4.1 – Palácio Nacional de Sintra

As primeiras referências estruturais do Palácio são anteriores à Reconquista. Segundo o geógrafo árabe Al-Bakrî do século XI, anteriormente a 1147 e das conquistas de Santarém e de Lisboa, Sintra possuía dois castelos de extrema solidez (Al-Himyarî apud Parques de Sintra-Monte da Lua 2016; Vieira da Silva 2002b) sendo um deles o Castelo dos Mouros e outro que existiria no local do atual Palácio Nacional de Sintra.

O Palácio foi classificado como Monumento Nacional em 1910 e integra-se na Paisagem Cultural de Sintra, classificada pela UNESCO como Património Mundial da Humanidade desde 1995.

#### 4.1.1. Enquadramento geográfico e climático

A região de Sintra encontra-se na faixa litoral da Área Metropolitana de Lisboa e faz fronteira a Norte pelo município de Mafra, a Leste por Loures, Odivelas e Amadora, a Sudeste por Oeiras, a Sul por Cascais e a Oeste pelo oceano Atlântico. Na Figura 4.2, demonstra-se a localização de Sintra e do seu Palácio.



Figura 4.2 - Localização do Palácio Nacional de Sintra (retirado do Google Earth)

A zona de Sintra contém uma enorme riqueza de património natural assim como de património monumental e arqueológico. Devido ao seu acentuado relevo (alguns cumes têm mais de 500m de altura), à sua flora e às particularidades geológicas e climáticas, a Serra de Sintra destaca-se na paisagem urbana envolvente (Instituto Nacional da Conservação apud Sousa 2003). Apesar do Palácio Nacional de Sintra se encontrar no centro da vila, envolve-se no meio inúmeros parques conferindo à zona uma tonalidade verde idêntica à da Serra.

Segundo Domingos (2008): “ Sintra é uma região com um clima Mediterrânico de influências atlântica, mas com vários microclimas. No município de Sintra, as temperaturas mais amenas fazem-se sentir junto ao mar, devido essencialmente ao efeito atenuador deste sobre as temperaturas extremas. Para a zona da Serra de Sintra, os valores de precipitação são mais elevados que as áreas circundantes, enquanto no litoral, se verificam os valores mínimos.”

O microclima característico da região de Sintra provém da combinação da sua zona montanhosa, da região costeira a Oeste, da sua vasta vegetação e floresta e das áreas urbanas existentes (Domingos 2008). A própria Serra forma uma barreira de condensações para as massas de ar húmidas provenientes do oceano Atlântico sendo possível observar um “capacete” de nuvens característico. Em consequência, observa-se que os níveis de radiação diminuem de Sudeste para Noroeste, ou seja, à medida que se aproxima da costa. A insolação apresenta o mesmo tipo de variação, contudo, a zona da Serra regista valores mais baixos devido à sua nebulosidade característica (Camãra Municipal de Sintra apud Sousa 2003).

Pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (apud Sousa 2003) consegue-se comparar as condições climáticas de Sintra com as de Lisboa de maneira a compreender as diferenças entre humidade relativa do ar (U), temperatura (T) média mensal e a precipitação (R) total entre as duas regiões (Tabela 4.1). Na Serra de Sintra o grau de humidade mantém-se elevado durante todo o ano devido aos densos nevoeiros existente no cume da serra criados pelos ventos costeiros de Nor-Noroeste. Apesar da proximidade das duas estações, regista-se valores significativamente diferentes principalmente nos parâmetros da humidade relativa e da



precipitação, sendo ambos superiores na zona de Sintra. Relativamente à temperatura, Lisboa tem valores superiores na ordem 1 a 2 graus.

**Tabela 4.1 - Diferenças climáticas entre Sintra e Lisboa (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica apud Sousa 2003)**

Mês	Sintra			Lisboa		
	U (%) - 9h	T <sub>Média Mensal</sub> (°C)	R <sub>total</sub> (mm)	U (%) - 9h	T <sub>Média Mensal</sub> (°C)	R <sub>total</sub> (mm)
Janeiro	88	10,4	158,1	86	11,3	122,0
Fevereiro	87	10,5	140,8	82	12,0	108,0
Março	85	12,0	130,0	78	13,5	101,3
Abril	83	13,4	74,8	71	15,2	54,3
Mai	83	15,4	58,1	68	17,6	43,9
Junho	83	17,3	25,8	67	20,0	22,4
Julho	81	19,2	3,6	65	22,3	3,5
Agosto	82	19,6	11,6	65	22,6	6,3
Setembro	83	19,0	29,3	72	21,3	28,5
Outubro	81	16,6	104,7	77	18,3	79,6
Novembro	86	13,2	136,2	81	14,2	101,5
Dezembro	88	11,2	132,7	85	11,7	106,7

Apesar da temperatura média de Sintra ser ligeiramente inferior à de Lisboa, através do meteoblue (2016), constata-se que as temperaturas mínimas diárias médias são idênticas em ambas as localizações, no entanto, as temperaturas máximas diárias médias são superiores em Lisboa sobretudo no verão, podendo haver uma diferença de 5 graus (ANEXO A, Figura A-1). À semelhança da Tabela 4.1, verifica-se uma diferença relevante nos valores de precipitação sendo os valores em Sintra consideravelmente mais elevados. Relativamente aos níveis de insolação, apesar de o número de dias nublados nas duas localizações ser semelhante, Sintra apresenta um elevado número de dias em que o céu se encontra parcialmente nublado reduzindo assim a exposição solar comparativamente com Lisboa (ANEXO A, Figura A-2).

#### 4.1.2. Descrição do Palácio

O Palácio apresenta uma planta irregular sendo composto por um conjunto de corpos, unidos por pátios, escadas, corredores e galerias, formando um V segundo eixos Noroeste-Sudeste e Nordeste-Sudoeste. As duas majestosas chaminés cónicas da cozinha e a torre da Sala dos Brasões têm especial destaque neste agrupamento de elementos estruturais. As coberturas de telhados de 2 a 4 águas ajudam a entender os vários corpos do Palácio e os jardins, de planimetria irregular, recortam a fachada Oeste (SIPA 2016).

Através de Vieira da Silva (2002) e Vieira da Silva (2002b), descreve-se os corpos principais que compõem o Palácio Nacional de Sintra:

##### **Terreiro Rainha Dona Amélia e Fachada Principal (Sul)**

A entrada do Palácio é feita pelo Terreiro da Rainha D. Amélia, sendo o seu nome uma homenagem à última rainha de Portugal. Este pátio era limitado a Sul e a Nascente por edifícios destinados à aposentadoria dos

nobres em visita ao rei e às suas comitivas. Porém, em 1910, estes edifícios foram demolidos retirando a privacidade característica dos Palácios medievais.

A inclinação do Terreiro da Rainha D. Amélia permite compreender que o Palácio encontra-se assente numa colina de forte elevação, diretamente responsável pela arquitetura aparentemente confusa e emaranhada.

A Fachada Principal é constituída por dois corpos principais: o corpo Joanino e o corpo Manuelino. Estes dois corpos estão unidos através de um corpo intermédio, de menor tamanho e importância, construído no final do século XVI.

### **Corpo Joanino**

Da época do D. João I, corresponde à Sala dos Cisnes ( piso superior definido por cinco janelas) e encontra-se enquadrado entre duas pequenas torres (Figura 4.3). Esta parte da fachada pode ser acedida pelo terreiro por uma larga escadaria que contém uma fonte circular no patamar intermédio. O piso térreo é constituído por quatro largos arcos quebrados.



Figura 4.3 – Corpo Joanino

### **Corpo Manuelino**

Esta ala foi erguida por D. Manuel I, ao longo da segunda década do século XVI, representa o lado direito da fachada Sul (Figura 4.4). A ala manuelina foi projetada para ser o prolongamento do corpo joanino e estruturase de forma a igualar o andar nobre da Sala dos Cisnes. Em planta, o corpo manuelino tem a forma de um L e no exterior é possível caracterizar duas zonas distintas. A primeira acompanha o corpo joanino e é caracterizada pelas suas janelas de grande efeito decorativo ao longo dos seus dois andares superiores. A segunda apresenta um desnível de altura e pode-se observar duas varandas que permitem a ligação com zonas mais restritas e íntimas.

Neste momento, o piso intermédio da primeira zona corresponde a gabinetes de direção do Palácio que tem ligação, através da varanda, à biblioteca. No último piso, encontra-se a Sala D. Manuel I com ligação direta ao Quarto da Rainha (considerado uma zona VIP, aberta apenas para certos eventos) e à varanda superior.



Figura 4.4 – Ala Manuelina

### **Fachada Norte e Sala dos Brasões**

Apesar da fachada Norte ser a mais simples, consegue-se observar o desenvolvimento das imponentes chaminés da cozinha, sendo consideradas o elemento mais marcante em todo o edifício. Nesta fachada, existe uma escadaria que conduz ao pátio de acesso à igreja pelo exterior que permitia a entrada dos criados e moradores para assistirem às celebrações religiosas.

A torre saliente que integra a fachada Norte, é constituída pela Sala dos Brasões, no piso superior, e pela Sala das Colunas, no piso inferior. Apesar da monotonia do lado exterior, a Sala dos Brasões é, provavelmente, a divisão interior que mais impressiona o visitante (Figura 4.5). Uma sala quadrada com as suas paredes preenchidas de azulejos decorativos que realçam os dourados da altíssima cúpula que ao centro encontra-se o brasão de armas do rei D. Manuel I.



Figura 4.5 – Sala dos Brasões

### **Fachada Oeste e Jardins**

A Fachada Oeste é o local onde se consegue compreender melhor a complexidade dos corpos que compõem o Palácio, tanto ao nível das diferenças de alturas como os recortes da estrutura (Figura 4.6). No exterior da zona Oeste do palácio, encontram-se diversos jardins que os visitantes podem percorrer ao longo dos patamares como é o caso do Jardim das Pretas, do Jardim Horta do Cipriano, do Jardim Novo e o Jardim do Príncipe com ligação ao interior através da Sala das Galés.



Figura 4.6 – Fachada Oeste

### 4.1.3. Momentos de construção do Palácio

O Palácio Nacional de Sintra foi evoluindo, através de várias obras, de forma a acompanhar os todos requisitos de habitação e comodidades impostos pela realeza portuguesa. Em seguida, apresenta-se de forma resumida a cronologia dos principais momentos de construção realizadas no Palácio (Sousa 2003; Vieira da Silva 2002b):

- 1386 – Início da campanha de obras da ala Joanina;
- 1489 – Obras de intuito de aligeiramento da massa de construção e enriquecer a decoração interior com a aplicação de azulejos andaluzes;
- 1505 a 1520 – Edificação do corpo Manuelino e início da construção da sala dos Brasões;
- 1521 a 1555 – Construção do corpo saliente entre a alas Joanina e Manuelina;
- Século XVII – Obras de alteração e ampliação;
- 1683 a 1706 – Renovação das pinturas dos tetos;
- 1755 – Início das obras de restauro dos danos causados pelo terramoto e edificação da ala Oeste (desde do Jardim da Pretas até ao pátio dos Tanquinhos);
- 1863 – Redecoração das janelas do alçado principal (Sul).

## 4.2. Caixilharias de madeira do Palácio

As caixilharias do Palácio Nacional de Sintra são, na sua grande maioria, constituídas por madeira de pinho-de-riça (*pinus sylvestries L.*), também conhecida como pinheiro-da-escócia, pinheiro-silvestre ou casquinha, sendo autóctone da Europa e da Ásia. A tinta que protege a madeira das caixilharias tem como base um óleo de linhaça com um pigmento de óxido de ferro, dando uma coloração avermelhada denominada de “Sangue de Boi”. As suas dimensões podem ser bastante variadas, desde inferiores a 0.2m<sup>2</sup> até superiores a 10m<sup>2</sup>, e apresentam diversas configurações (ANEXO B, Figura B-1).

No Palácio existem mais de 300 caixilharias de portas e janelas exteriores tornando a sua manutenção constante e dispendiosa. No entanto, estes elementos são considerados como elementos secundários e a sua manutenção, normalmente, é realizada por intervenções pontuais e exaustivas invés de ser aplicada uma manutenção regular e ligeira.

Sousa (2003) descreve as principais anomalias existentes nas caixilharias do Palácio Nacional de Sintra, tendo sido, na sua maioria, observadas e confirmadas durante o levantamento efetuado para o presente estudo, ou seja, no período de 2015. Assim, constata-se que as principais anomalias são:

- degradação dos esquemas de pintura;
- degradação dos elementos de madeira;
- vidros partidos e massas estaladas ou quebradas;
- defeitos e corrosão das ferragens;
- desajuste relativamente a funções de:
  - isolamento térmico e estanqueidade;
  - proteção dos elementos interiores;
  - segurança contra ações acidentais e intrusão;
  - funcionamento.

Porém, em 2015 não foi observado nenhum elemento que comprometesse a segurança contra acidentes ou contra intrusões. Os vãos, com exceção dos elementos com sinais de intervenções recentes, apresentavam degradação na pintura e, em alguns casos, na madeira também. A degradação da madeira era, na maioria, ao nível de fendas, empenos e bolores, havendo, em 2003, poucos casos de apodrecimento da madeira e apenas um caso, não confirmado, suspeito de ataque de insetos xilófagos. Em 2015, não foram registados casos de madeira apodrecida e não se confirmou nenhum ataque de insetos, esta melhoria ao nível da madeira deve-se às intervenções pontuais realizadas entre os dois períodos.

No trabalho desenvolvido por Sousa (2003) apresenta-se uma escala de degradação das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra. Esta graduação classifica-se através de um sistema de 5 níveis relacionados com os trabalhos necessários para cada intervenção, sendo estas soluções de reparação baseadas no projeto de reabilitação desenvolvido pela Grafermonte para a empreitada de 2003. No presente estudo, emprega-se a escala de degradação sugerida por Sousa (2003):

- **Nível de degradação 0:** a caixilharia encontra-se em bom estado de conservação, apenas necessita de manutenção e/ou limpeza nas ferragens de caixilharias de locais de elevada circulação (Figura 4.7);



Figura 4.7 – Exemplos de nível de degradação 0



- **Nível de degradação 1:** a caixilharia apresenta-se em bom estado de conservação, no entanto, pode haver sinais de presença de bolores e é necessário limpar e preparar a superfície para voltar a pintar, por motivos estéticos (Figura 4.8);



Figura 4.8 - Exemplos de nível de degradação 1

- **Nível de degradação 2:** o estado de conservação da caixilharia é razoável, contudo o esquema de pintura encontra-se bastante degradado. Os trabalhos de reparação são: raspagem da tinta degradada e aplicação de nova pintura; e “emassamento” em algumas das juntas (travessas e almofadas inferiores) (Figura 4.9);



Figura 4.9 - Exemplos de nível de degradação 2

- **Nível de degradação 3:** idêntico ao nível anterior. Porém, a madeira encontra-se irregular exigindo um “emassamento” geral da caixilharia antes de se executar a pintura final (Figura 4.10);



Figura 4.10 - Exemplos de nível de degradação 3

- **Nível de degradação 4:** a conservação da caixilharia encontra-se em mau estado contendo elementos degradados, usualmente as travessas e almofadas inferiores. Assim, procede-se à substituição das

peças degradadas antes de se realizar a raspagem, o “emassamento” e a pintura. Em casos extremos de degradação, substitui-se o vão danificado por um novo (Figura 4.11).



Figura 4.11 - Exemplos de nível de degradação 4

O sistema de classificação apresentado por Sousa (2003) foca-se essencialmente nas anomalias associadas à degradação dos esquemas de pintura, dos elementos de madeira e das massas de vidraceiro. Para as restantes anomalias não se consegue associar um sistema de classificação ou um nível de degradação devido à sua incerteza de ocorrência, como por exemplo, os vidros partidos podem estar associada às seguintes causas (Sousa 2003): quebra através dos ramos das árvores próximas dos vãos; ações acidentais (e.g. correntes de ar ou pancada); ou esforços induzidos pela degradação e deformação da caixilharia.

Na descrição de cada nível de degradação descreve-se, de forma resumida, os trabalhos necessários que as caixilharias necessitam durante o restauro. Contudo, é importante detalhar esses procedimentos de reabilitação, assim como caracterizar os materiais utilizados.

No caso específico do Palácio Nacional de Sintra, a reabilitação das caixilharias deve ser efetuada com a madeira perfeitamente seca, sobretudo durante a fase de pintura, com temperatura ambiente entre 7°C e os 35°C e a humidade relativa do ar ser inferior a 60%. A ordem dos procedimentos para um nível de degradação 4 pode ser descrita do seguinte modo (Sousa, Pereira, e de Brito 2003): i) remoção da tinta velha e massas soltas; ii) identificação de elementos de madeira excessivamente degradados ou em falta que não tenham sido identificados numa primeira análise; iii) substituição dos elementos degradados ou em falta e reparação de peças com folga ou soltas; iv) regularização e limpeza da superfície da madeira com lixa; v) imunização com produto preservador; vi) aplicação de um primário; vii) execução de nova lixagem; viii) aplicação de massa de óleo (massa rija); ix) aplicação de betume (massa de barrar); x) execução de nova lixagem; xi) aplicação de uma demão de tinta; xii) execução de nova lixagem; xiii) reparação com betume (massa de barrar); xiv) nova lixagem e execução de retoques com tinta; e xv) demão final com tinta de óleo. No caso de existir vidros na constituição da caixilharia: i) reposição dos vidros na caixilharia, substituindo os que se encontrem danificados; e ii) aplicação das massas de vidraceiro. Para os restantes níveis de degradação alguns dos passos não são necessários realizar, dependendo do estado em que se encontra a porta ou a janela.

Durante a empreitada de reparação das caixilharias de madeira, em 2003, utilizou-se os seguintes materiais para executar o restauro dos vãos:

#### **Primário**

- 25 cl de óleo de linhaça;
- 75 cl de aguarrás;
- 2 pacotes de secante;
- óxido de ferro.

#### **Massa rija**

- 25 cl de óleo de linhaça;
- 75 cl de aguarrás;
- 2 pacotes de secante;
- cré em quantidade suficiente de modo a obter uma massa rija.

#### **Massa de barrar**

- 3 partes de óleo de linhaça;
- 1 parte de aguarrás;
- 6 pacotes de secante;
- 1 parte de alvaiade;
- 3 partes de litopone;
- 2 partes de cré.

#### **Tinta de óleo**

- 1 litro de óleo de linhaça;
- 1/8 de litro de aguarrás;
- 1/4 de quilo de secante;
- óxido de ferro.

As composições do primário, da massa rija, da massa de barrar e da tinta de óleo foram retiradas de relatórios da empreitada de 2003 elaborados pela Grafermonte. Nesta empreitada existiu a preocupação de se utilizar apenas materiais orgânicos respeitando a história e as características do Palácio Nacional de Sintra e as exigências impostas pelo dono de obra. As tintas e as massas foram produzidas em obra de uma forma tradicional de modo a garantir uma maior genuinidade.



## 5. Modelo de gestão das caixilharias de madeira

### 5.1. Levantamento das caixilharias

O Palácio Nacional de Sintra contém cerca de 300 caixilharias exteriores tendo a Grafermonte efetuado o seu levantamento e a sua caracterização em 2003. Durante a recolha de informação registaram-se 303 elementos dividindo-se em 134 portas, 166 janelas, 1 grade e 2 vãos sem caixilharia. Porém, entre os períodos de 2003 e 2015, duas janelas foram retiradas do Jardim dos Príncipes por não pertencerem à arquitetura original e medieval do Palácio. Na Tabela 5.1 apresenta-se a distribuição das janelas e das portas exteriores pelo Palácio.

**Tabela 5.1 – Caracterização das janelas e das portas exteriores do Palácio Nacional de Sintra**

Janelas	Piso								
	-1 e 0	1	2	3	4	5	6	7	8 e 9
	4	15	23	50	36	11	3	13	10
	Orientação Solar								
	Este		Sul		Oeste		Norte		
	29		57		30		48		
	Área Média (m <sup>2</sup> )								
	1,57		3,68		1,71		1,56		
Portas	Piso								
	-1 e 0	1	2	3	4	5	6	7	8 e 9
	1	12	17	14	42	29	5	14	0
	Orientação Solar								
	Este		Sul		Oeste		Norte		
	34		39		36		25		
	Área Média (m <sup>2</sup> )								
	3,89		3,84		3,73		4,38		

Relativamente à área das caixilharias, não foi possível obter as medidas de todos os vãos devido ao difícil acesso, contudo, consegue-se compreender que as janelas da fachada Sul (fachada principal) apresentam uma área significativamente maior que nas outras fachadas.

#### 5.1.1. Degradação atual

Durante as visitas ao Palácio no período entre Dezembro de 2015 e Janeiro de 2016, houve a possibilidade de se observar e caracterizar 257 caixilharias exteriores, através de inspeção visual e recolha de informação em conjunto com pessoas associadas ao Palácio, tendo-se feito também o levantamento fotográfico das respetivas caixilharias. As observações foram realizadas ao nível da face exterior e interior tendo sido caracterizadas como se demonstra na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2 – Degradação geral das caixilharias em 2015**

	Nível de Degradação					Nº total de caixilharias
	0	1	2	3	4	
<b>Face Exterior</b>	17	47	100	80	13	257
<b>Face Interior</b>	53	36	8	-	-	97

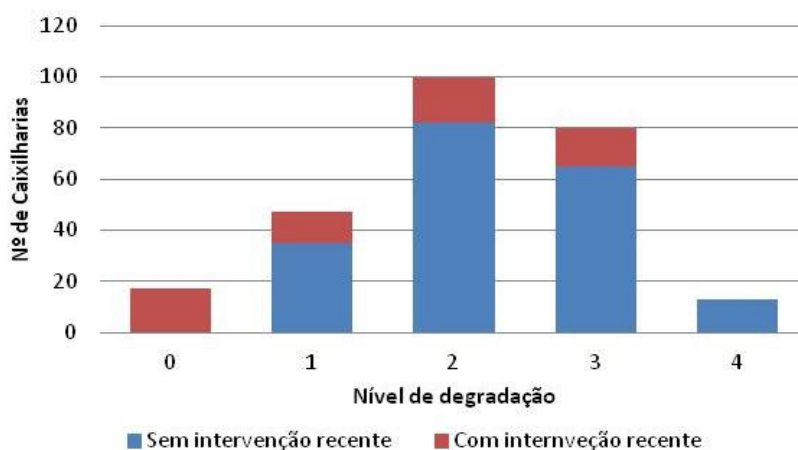
Na Tabela 5.3, elaboram-se combinações entre a relação do nível de degradação da face exterior com o da face interior para uma melhor compreensão do comportamento de degradação das caixilharias.

**Tabela 5.3 – Nível de degradação das faces Exterior/Interior**

Combinação Exterior/Interior	0/0	1/0	2/0	3/0	4/0	1/1	2/1	2/2	3/1	3/2	4/1	4/2
Nº de vãos	4	6	26	15	2	1	11	3	21	4	3	1

O nível de degradação da face interior nunca é superior ao da face exterior, como seria de esperar, pois a exterior está diretamente exposta a todos os agentes de degradação e de forma mais intensa. Relativamente à face interna da caixilharia, apenas 4,12% dos elementos apresentam igual nível de degradação em ambas as faces e 8,24% apresentam o nível de degradação 2, não se tendo observado níveis de degradação 3 ou 4. Como a degradação da face interior é significativamente mais lenta, esta face não apresenta interesse para a análise do presente estudo. Adicionalmente, as intervenções planeadas em função da maior degradação são usualmente realizadas em toda a caixilharia e não apenas em uma face.

Na Figura 5.1 apresenta-se a distribuição da condição geral das caixilharias exteriores no período recolha de dados, desde início de Dezembro de 2015 até meados de Janeiro de 2016.



**Figura 5.1 - Condição da face exterior das caixilharias observadas em 2015**

No levantamento dos dados, constatou-se que existem 5 elementos compostos por uma madeira exótica e não identificada, com nível de degradação 2, na Sala dos Cisnes (Fachada Sul), com acabamento em verniz. A madeira e o esquema de proteção destas caixilharias apresentam características diferentes dos outros vãos, logo, o seu desempenho aos agentes de degradação também é diferente. Desta forma, estas 5 caixilharias serão retiradas das restantes análises.

As caixilharias com sinais de intervenção recente representam os vãos que, entre 2003 e 2015, tiveram reparações (Figura 5.2). Durante as inspeções e recolhas de dados nos períodos 2013 e 2015, detetou-se que as caixilharias tinham sofrido intervenções através da identificação de:

- presença de diferentes tipos de tinta na mesma caixilharia;
- raspagem de tinta;
- peças com um estado de degradação bastante diferenciado do resto da caixilharia;
- por informações dadas por pessoas que trabalham no Palácio.

Estas intervenções pontuais são realizadas sem qualquer planeamento e por motivos de extrema necessidade como, por exemplo, a segurança contra ações acidentais. Estes elementos não apresentam interesse de análise porque, sem os registos dos materiais utilizados (tipo, qualidade e modo de aplicação) e das datas das intervenções, não é possível caracterizar o seu desempenho em termos de durabilidade. Assim, excluem-se da análise as 62 caixilharias com sinais de intervenção recente.



Figura 5.2 – Exemplo de caixilharia sem intervenção recente (esquerda) e com sinais de intervenção recente (direita)

Para caracterizar as restantes 190 caixilharias, analisou-se o nível de degradação para cada orientação solar e para os elementos que se encontram abrigados e não abrigados. Na Tabela 5.4 demonstra-se a distribuição dos elementos pelos parâmetros analisados. Porém, não se apresenta vãos de nível 0 porque todas se englobam na categoria “Com intervenções recentes”.

Tabela 5.4 – Caracterização da face exterior pelas orientações solar

Orientação Solar	Número de Caixilharias				Nº Total de Vãos
	Nível de Degradação				
	1	2	3	4	
<b>Este</b>	<b>10</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>42</b>
Não abrigado	7	11	13	2	33
Abrigado	3	6	0	0	9
<b>Sul</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>50</b>
Não abrigado	2	7	26	5	40
Abrigado	5	5	0	0	10
<b>Oeste</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>45</b>
Não abrigado	3	16	16	4	39
Abrigado	2	4	0	0	6
<b>Norte</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>53</b>
Não abrigado	12	27	10	2	51
Abrigado	1	1	0	0	2
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>77</b>	<b>65</b>	<b>13</b>	<b>190</b>
Não abrigado	24	61	65	13	163
Abrigado	11	16	0	0	27

Os elementos protegidos de raios solares e da chuva (e.g. situados por baixo de arcadas) apresentam-se num melhor estado de conservação independentemente da sua orientação solar. Neste caso, conclui-se que os elementos abrigados, estando menos expostos a estes agentes de degradação, apresentam uma degradação substancialmente mais lenta (Figura 5.3).

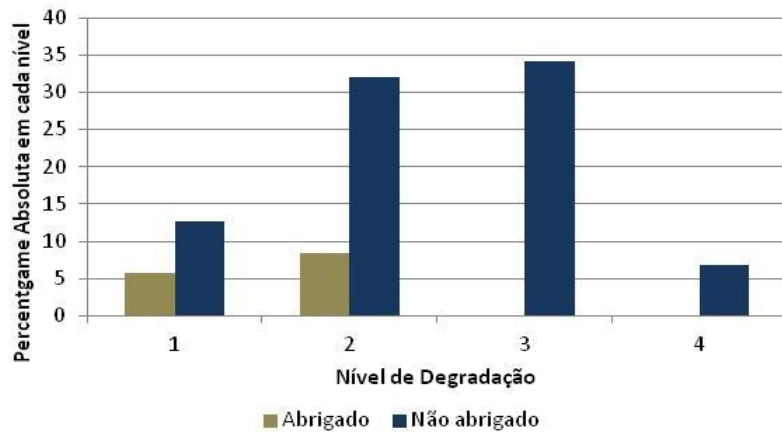


Figura 5.3 - Gráfico de Percentagens Absolutas dos elementos abrigados e não abrigados

No estudo publicado por Sousa, Pereira e Meireles (2015), também se confirmou que a orientação solar e o nível de abrigo têm uma influência significativa no estado de conservação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra.

Para as restantes análises, as caixilharias com a condição “Abrigado” devem ser retiradas da amostra por não apresentarem um comportamento idênticos aos das caixilharias expostas diretamente aos agentes de degradação.

As Figura 5.4 e Figura 5.5 representam os gráficos das percentagens absolutas e das percentagens relativas, respetivamente.

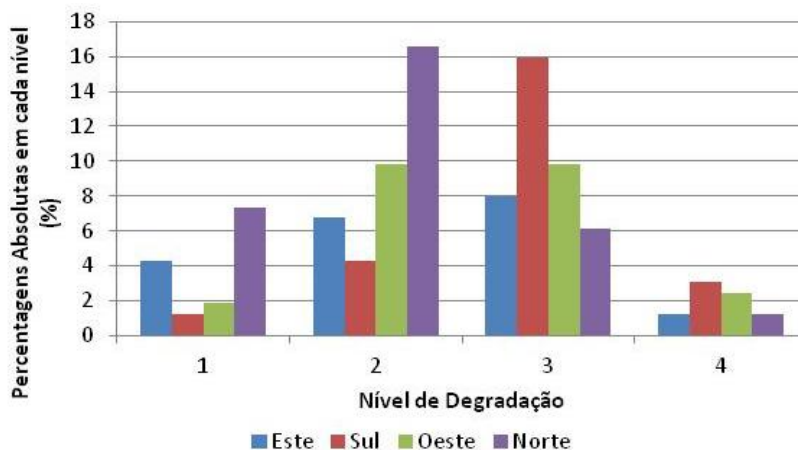


Figura 5.4 - Gráfico de Percentagens Absolutas

Apesar da amostra apresentar uma pequena quantidade de elementos de nível de degradação 4 (7,34%), este valor poderia ser mais elevado caso não tivessem sido realizadas intervenções pontuais (62 vão observados) ao longo destes 12 anos. Estas intervenções reduzem o nível de degradação das caixilharias, como se pode observar entre os anos de 2013 e 2015 (e.g. de 4 para 2 ou de 3 para 1, nos respetivos anos).

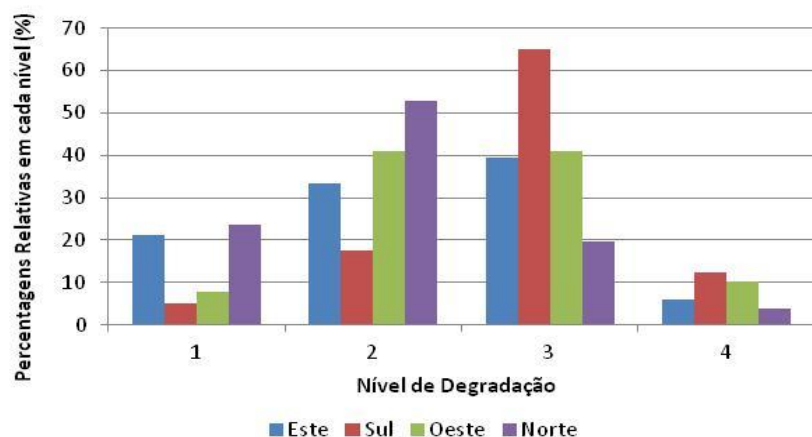


Figura 5.5 - Gráfico de Percentagens Relativas

### 5.1.2. Comparação entre 2013 e 2015

Como referido anteriormente, no atual trabalho tem-se em consideração os estudos anteriormente efetuados (Sousa 2003; Sousa, Pereira e Meireles 2015) sobre as caixilharias de madeira do Palácio. Para elaborar o caso de estudo desta dissertação, utilizou-se as mesmas caixilharias analisadas por Sousa, Pereira, e Meireles (2015) mantendo a coesão das observações realizadas em 2013 e 2015. Esta medida é de extrema importância visto que a qualidade e a veracidade deste estudo depende de dados previamente recolhidos. Os dados apresentados neste subcapítulo serão utilizados para elaborar um modelo de degradação das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra (Capítulo 5.2).

Em 2013, recolheu-se informação de 89 caixilharias em que 27 apresentavam sinais de intervenção recente e 5 continham acabamento de verniz, limitando-se a amostra em 57 elementos de estudo. Em 2015, registou-se mais 7 vãos com sinais de intervenção notando-se da existência de uma caixilharia com sinais de intervenção em ambos os períodos de recolha de dados. Neste último caso, houve o cuidado de apenas retirar a caixilharia da amostra de 2013 evitando uma discordância entre os dois períodos.

Na amostra do estudo existem 6 vãos com a característica de “Abrigado” que, como visto anteriormente, apresentam níveis de degradação não superior a 2. Pelo igual motivo apresentado no subcapítulo anterior, retirou-se os elementos protegidos da amostra. No entanto, observou-se que existe uma caixilharia abrigada que partilhava também a categoria “Com intervenções recentes”. Deste modo, houve a precaução de apenas retirar o elemento da amostra apenas uma vez.

Na Figura 5.6 apresenta-se a distribuição das percentagens caixilharias pelos níveis de degradação para 2013 e 2015. As diferenças existentes entre os dois gráficos devem-se à existência de evolução do nível de degradação e da diminuição da amostra devido às intervenções feitas entre 2013 e 2015, como no caso da situação do nível 3 para a orientação Oeste.

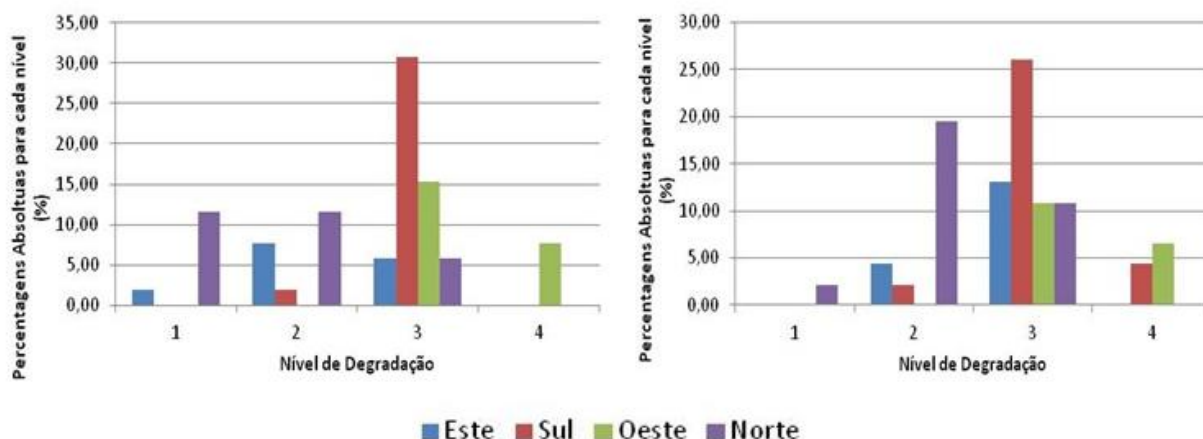


Figura 5.6 – Gráficos que caracterizam o estado das caixilharias em 2013 (esquerda) e em 2015 (direita)

Entre 2013 e 2015, registou-se 26 caixilharias com evolução do nível de degradação distribuídas em todas as direções (Tabela 5.5).

Tabela 5.5 – Evolução do nível de degradação pelas orientações solar

	Elementos com evolução do ND				
	Este	Sul	Oeste	Norte	Total
<b>Com Sinais de intervenção em 2013</b>	3	6	1	1	11
<b>Não teve intervenção</b>	4	2	2	7	15
<b>Total</b>	7	8	3	8	26

Na Figura 5.7, observa-se que as caixilharias “Com sinais de intervenção recente” (42,31% desta amostra) também apresentam evolução de desgaste, reforçando-se assim a inviabilidade da análise destes elementos pelos motivos anteriormente referidos.

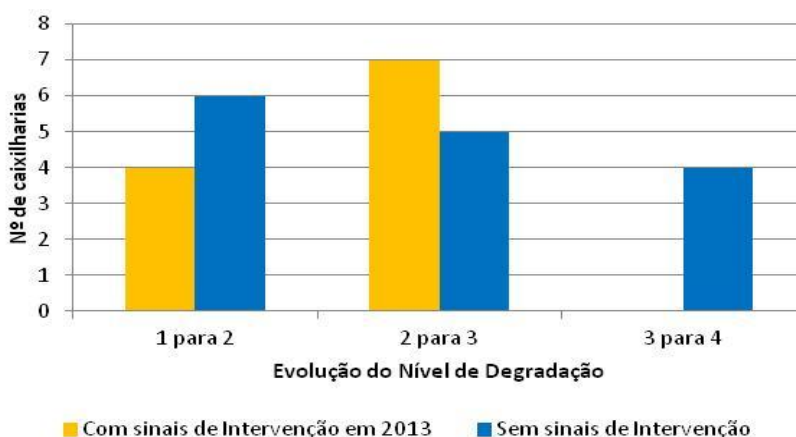


Figura 5.7 - Evolução do ND das caixilharias

## 5.2. Modelo de degradação

No presente capítulo pretende-se elaborar um modelo da degradação das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra através das observações efetuadas nos períodos de 2003, 2013 e 2015. As caixilharias que possuem sinais de intervenção recente ou/e encontram-se protegidas dos agentes de degradação foram retiradas da amostra do estudo, pelos motivos mencionados nos capítulos anteriores.

Através dos dados recolhidos em 2013 e 2015, elaborou-se as curvas de degradação da face exterior das caixilharias para cada orientação solar (Figura 5.8).

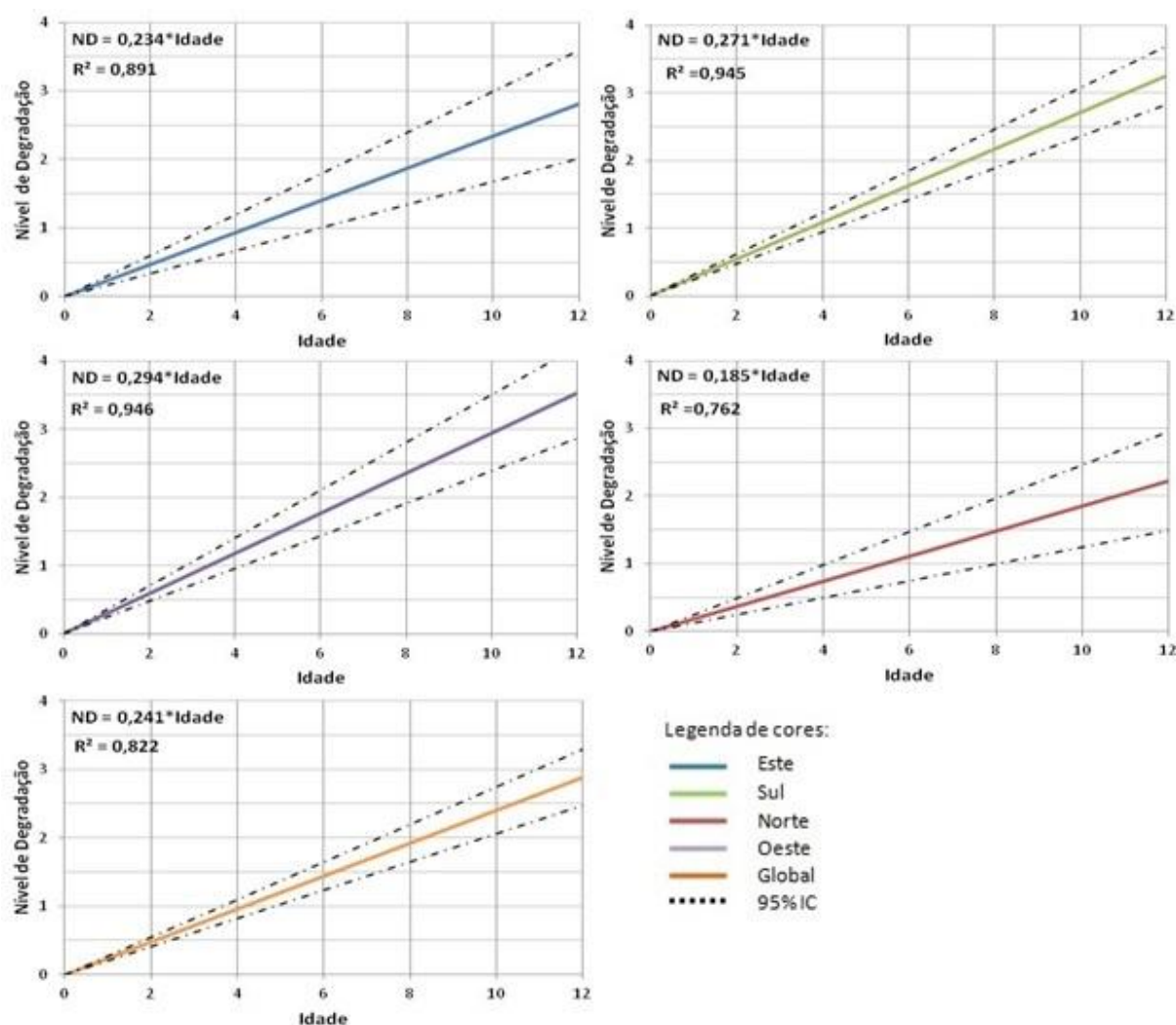


Figura 5.8 – Gráficos das curvas de degradação: a) Este; b) Sul; c) Norte; d) Oeste; e) Global

Os gráficos apresentados na Figura 5.8 são compostos por regressões lineares sendo estas as curvas que se melhor ajustam para os dados em análise. Nos gráficos incluindo-se também os correspondentes intervalos de confiança (IC) de 95% permitindo estimar a incerteza associada às equações obtidas. No entanto, para valores superiores a 4 as regressões deixam de ser aplicáveis pois, a escala da degradação tem um valor de nível máximo igual a 4. Neste estudo, como nível de degradação 4 está associado à degradação da madeira, considera-se que a Vida Útil de Referência (VUR) é quando se atinge este nível. Na Tabela 5.6 apresenta-se os valores VUR do esquema de pintura das caixilharias do Palácio.

Tabela 5.6 - Vida Útil de Referência das portas e janelas exteriores do Palácio Nacional de Sintra

Orientação	Média de VUR (Anos)	97,5% VUR (Anos)	2,5% VUR (Anos)	Amplitude (Anos)
Global	16,6	19,4	15,3	4,1
Este	17,1	23,9	13,4	10,5
Sul	14,8	17,0	13,0	4,0
Oeste	13,6	16,8	11,4	5,4
Norte	21,6	32,2	16,3	16,0

A incerteza representada pelos intervalos de confiança pode estar associada a outros fatores que influenciem a taxa de degradação que não a exposição aos agentes de degradação ambientais. Estes fatores podem ser defeitos não detetados durante a reabilitação, aspetos relativos aos materiais e à mão-de-obra (e.g. dosagens da tinta, concentração e fadiga) ou às condições apropriadas para a secagem (e.g. temperatura, humidade, vento, precipitação). Assim, considera-se que os fatores ambientais são os agentes com maior relevância na degradação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra (Sousa, Pereira, e Meireles 2015).

Os valores da vida útil apresentados na Tabela 5.6 encontram-se dentro dos valores de uma pintura à base de óleo de linhaça mencionados em Davies (2013), com exceção da orientação Norte que apresenta um valor significativamente maior (mais 6 anos). Este fator deve-se sobretudo à baixa exposição da orientação Norte à luz solar, conservando-se as caixilharias de madeira durante mais tempo.

No modelo de degradação do presente estudo tem-se em consideração a radiação solar numa superfície vertical ( $RS_{SV}$ ) e a direção da precipitação sob influência do vento ( $DP_V$ ), para cada orientação solar em análise. Outros agentes climáticos (e.g. poluição, humidade relativa) também têm influência na degradação da pintura e da madeira, porém, estes elementos são constantes em todos os vãos, qualquer que seja a orientação, sendo possível excluí-los do estudo. Na Tabela 5.7 estão identificados os valores de  $RS_{SV}$  e  $DP_V$  característicos de Sintra para todas as orientações solares.

**Tabela 5.7 -  $RS_{SV}$  e  $DP_V$  para cada orientação ( adaptado de Sousa, Pereira, e Meireles 2015)**

Orientação	$RS_{SV}$ (kW/m <sup>2</sup> )	$DP_V$ (mm)
Este	10.194,88	50,9
Sul	12.145,28	172,1
Oeste	10.092,94	204,3
Norte	4.531,62	135,2

Como se pode observar na Tabela 5.7, as orientações Oeste e Sul apresentam uma combinação de valores de  $DP_V$  e de  $RS_{SV}$  bastante superiores quando comparados com os de Este e de Norte, sendo também as orientações que apresentam maior taxa de deterioração (Figura 5.8). Desta forma, mostra-se a relevância da combinação das ações dos fatores ambientais como agentes de degradação, nomeadamente os ultravioletas e a humidade proveniente da precipitação combinada com o vento. Porém, como a orientação Norte apresenta a menor taxa de degradação e pelos valores apresentados na Tabela 5.7, pode-se concluir-se que a radiação solar tem maior influência na degradação da pintura das caixilharias do que a água da precipitação.

No entanto, a diferença entre VUR médio da orientação Oeste e Este é de 3,5 anos apesar dos seus valores de  $RS_{SV}$  serem muito próximos. Esta diferença de VUR deve-se sobretudo à infiltração de água na madeira das caixilharias proveniente da precipitação que provoca o descasque da pintura, como foi mencionado por Sousa, Pereira, e Meireles (2015) e van den Berg (2002), acelerando o processo de degradação. Deste modo, pode-se observar o impacto da água na degradação das caixilharias de madeira.

Para o presente trabalho, a formulação do modelo de degradação tem como base o modelo proposto por Sousa, Pereira e Meireles (2015) que calcula o Nível Médio de Degradação (NMD) em função da idade da



caixilharia ou da última intervenção. Através do *software* IBM SPSS e respeitando o modelo da equação apresentado por Sousa, Pereira e Meireles (2015), obteve-se a seguinte equação para estimar o NMD:

$$\text{NMD} = \text{Idade} \times \left[ 0,442 \times \left( \frac{\text{RS}_{\text{SV}}}{10000} \right)^{3,055} + 0,238 \times e^{\left( \frac{\text{DP}_V}{100} \right)^{0,873}} - 1,027 \times \left( \frac{\text{RS}_{\text{SV}}}{10000} \times \frac{\text{DP}_V}{100} \right)^{0,697} \right] \quad (5.1)$$

No estudo de Sousa, Pereira e Meireles (2015) demonstra-se que a última parcela da Equação (5.1) tem um efeito relevante na interação entre o efeito da radiação solar e da água da precipitação no processo de degradação das caixilharias de madeira. Na Tabela 5.8 apresenta-se os valores de NMD calculados através da informação analisada e estimados pela Equação (5.1) para os períodos de 2013 e 2015. Através dos resultados obtidos pode-se verificar a precisão dos valores previstos do NMD.

**Tabela 5.8 – Valores calculados e estimados de nível de degradação nos dois períodos de recolha de informação**

Orientação	Valor do ND (em 2013)		Valor do ND (em 2015)	
	Estimado	Calculado	Estimado	Calculado
Este	2,33	2,34	2,80	2,80
Sul	2,70	2,71	3,24	3,25
Oeste	2,92	2,94	3,50	3,53
Norte	1,84	1,85	2,21	2,22

A diferença entre os valores calculados e estimados tem de valor máximo de 0.03, na orientação Oeste. Com esta diferença insignificante, pode-se concluir que o modelo de degradação obtido é válido para a degradação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra. No entanto, o modelo foi desenvolvido apenas para 4 combinações de  $\text{RS}_{\text{SV}}$  e de  $\text{DP}_V$ , pelo que para uma outra combinação a análise deve ser elaborada com o devido cuidado.

Os níveis de degradação de 2013 obtidos no presente estudo são muito próximos dos resultados apresentado por Sousa, Pereira, e Meireles (2015) (Tabela 5.9), apenas na orientação Oeste se verifica uma diferença de 0,39. Esta diferença deve-se às intervenções registadas no período de 2013-2015 serem todas realizadas em vãos direcionados a Oeste, tendo sido retiradas da amostra do presente trabalho levando a uma diminuição do nível de deterioração nesta orientação. Relativamente aos valores obtidos de VUR, estes também se encontram próximos em ambos os trabalhos. Assim, conclui-se que o modelo de degradação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra proposto por Sousa, Pereira, e Meireles (2015) e ajustado no presente estudo se encontra bem formulado.

**Tabela 5.9 – Comparação dos níveis de degradação em 2013 obtidos pelo modelo de degradação**

Orientação	Nível de degradação em 2013	
	Calculado no presente estudo em 2015	Calculado por Sousa, Pereira, e Meireles (2015)
Este	2,34	2,25
Sul	2,71	2,73
Oeste	2,94	3,33
Norte	1,85	1,80

### 5.3. Custos

Entre 2002 e 2003, realizaram-se obras de intervenção nas caixilharias do Palácio Nacional de Sintra e através dessa empreitada recolheu-se os custos das intervenções para cada vão. Os tipos de trabalhos podem variar entre lixagem, barramento, emassamento e pintura, consoante o nível de degradação. Por vezes, foi necessário realizar trabalhos de serralharia (e.g. colocação de fechadura ou colocação do espelho do puxador) ou trabalhos de substituição de vidros nas janelas. Neste tipo de empreitadas, de uma forma geral, o preço divide-se nas componentes do custo de mão-de-obra e do custo dos materiais, sendo a primeira parcela a que retém maior percentagem do custo total. Porém, não existe informação suficiente para fazer a análise de cada parcela.

Para avaliar os preços das intervenções, analisou-se 46 vãos dos quais: 4 com nível de degradação 1 (sem trabalhos de serralharia); 11 (2 com trabalhos de serralharia) com nível de degradação 2; 25 (6 com trabalhos de serralharia) tinham nível de degradação 3; e 6 (1 com trabalhos de serralharia) tinham nível de degradação 4. Com os dados fornecidos, calculou-se o preço da reparação, em 2003, dos vãos por  $m^2$  para cada nível de degradação. No entanto, nos elementos que exigiam trabalhos de serralharia ou de outro tipo não associados à reparação da pintura observou-se que o preço sofria um incremento significativo (Figura 5.9).

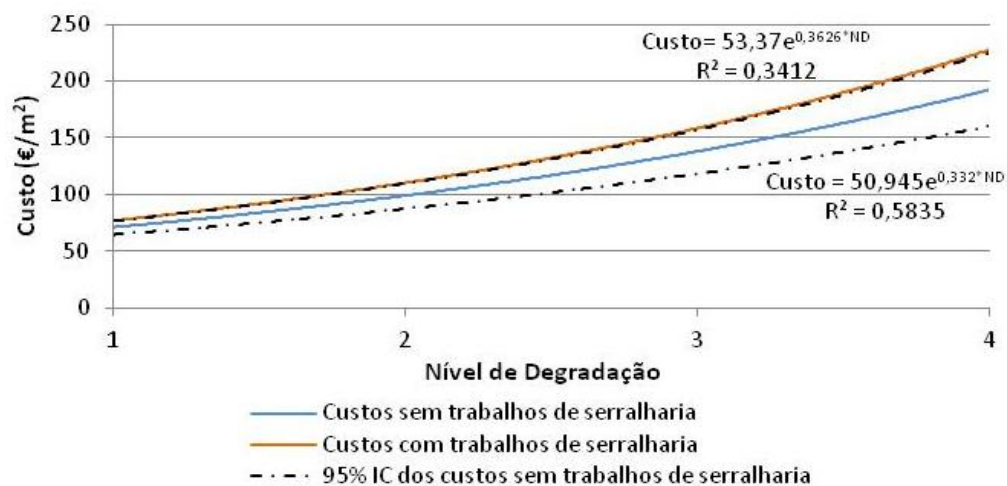


Figura 5.9 – Gráficos da evolução dos custos de reparação por nível de degradação

Na Figura 5.9 pode-se observar que a curva dos custos com trabalhos de serralharia apresenta um coeficiente de determinação estatístico muito baixo ( $R^2=0,3412$ ). Este valor deve-se ao significativo incremento dos custos quando as intervenções necessitam de realizar trabalhos de serralharia sendo muito discrepante quando comparado com as intervenções sem trabalhos de serralharia. Ao retirar-se os elementos sujeitos a trabalhos de serralharia, consegue-se ajustar de forma mais adequada a curva dos custos de reparação (curva exponencial azul). Para o presente estudo, utiliza-se os valores do preços das caixilharias que apenas tiverem intervenções ao nível da pintura para estar em concordância com o modelo de degradação calculado anteriormente (ver Capítulo 5.2). A diferença entre duas curvas pode ser utilizado para estimar os custos dos trabalhos de serralharia no caso se verificar a sua necessidade

Após a verificação dos preços em 2003, procedeu-se à atualização os preços para o ano de 2015. Segundo a informação fornecida pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), para o setor da construção habitacional existem o Índice de Custos de Construção de Habitação Nova (ICCHN) e o Índice de Preços de Manutenção e Reparação Regular da Habitação (IPMRRH) para avaliar as variações dos preços ao longo dos anos. Para este estudo considera-se que o índice mais indicado é o IPMRRH tendo em consideração que o âmbito deste trabalho refere-se à análise da manutenção e da reparação de elementos de um edifício existente.

De acordo com o INE, para o IPMRRH pode-se examinar a variação dos preços para o país ou entre várias zonas do país (e.g. Norte, Sul, Centro). No caso do Palácio Nacional de Sintra, a zona de estudo encontra-se na Área Metropolitana de Lisboa. Na Tabela 5.10 demonstra-se os preços atualizados das intervenções para cada nível de degradação das caixilharias com base nos preços praticados em 2003.

**Tabela 5.10 – Variação dos preços de intervenção entre 2003 e 2015**

Ano	Preço (€)/m <sup>2</sup> de Reparação por nível de degradação			
	1	2	3	4
2003	71,00	98,96	137,93	192,24
2004	73,52	102,48	142,83	199,06
2005	76,52	106,65	148,64	207,16
2006	79,07	110,20	153,60	214,08
2007	81,23	113,21	157,79	219,92
2008	83,86	116,88	162,90	227,04
2009	82,43	114,89	160,13	223,18
2010	83,09	115,81	161,41	224,96
2011	84,34	117,54	163,83	228,34
2012	85,78	119,55	166,63	232,24
2013	85,95	119,79	166,96	232,70
2014	85,95	119,79	166,95	232,69
2015	85,94	119,78	166,95	232,69

Com base na observação da Tabela 5.10, apesar de um aumento de 21% dos preços neste tipo de trabalhos nos últimos 12 anos, desde de 2011 que os preços se mantêm quase inalterados, sendo este fenómeno o reflexo da atual situação económica de Portugal e, mais concretamente, da indústria da construção portuguesa.

Porém, no cálculo dos custos futuros, realizados no presente trabalho, assume-se um crescimento a uma taxa constante igual à média das taxas inflação entre 2003 e 2015.

## 5.4. Aplicação da metodologia proposta

### 5.4.1. Requisitos

Durante as visitas de 2015, em conjunto com o responsável de restauro do Palácio, recolheu-se os requisitos mínimos que o modelo de manutenção deve cumprir de forma a não comprometer a imagem do Palácio e o bom funcionamento das visitas.

Estas condições têm como principal função estabelecer parâmetros mínimos ao nível da estética, conservação, segurança e função. Os requisitos que o modelo proposto deve obedecer são:

- não são aceitáveis caixilharias com degradação avançada da madeira;
- nas zonas do percurso turístico, incluindo a loja, e na zona VIP é aceitável um nível de degradação 3 baixo;
- nos gabinetes da direção e na biblioteca aceita-se um estado de degradação 3 moderado;
- durante as obras de reabilitação, o Palácio não pode ser fechado ao público. Em casos excecionais, uma divisão pode estar interdita ao público sendo necessário solucionar uma alternativa do trajeto do circuito turístico (ANEXO C, Figura C-1).

O primeiro requisito deve-se sobretudo para evitar acidentes (e.g. queda de elementos). Assim, impõe-se que o limite máximo do nível de degradação de uma caixilharia tem de ser menor a 4, para todas as zonas do Palácio. Relativamente ao segundo requisito, aceita-se uma ligeira degradação da pintura das portas e das janelas desde que não desperte atenção dos visitantes. Assim, engloba-se também os vãos mais visíveis da fachada Sul (fachada da entrada do Palácio). A terceira condição pode ser um pouco mais flexível sendo aceitável uma degradação de nível 3 elevado. No presente trabalho, a quarta condição não vai ser analisada, tendo apenas relevância durante a realização das empreitadas. De forma a cumprir todos os requisitos, caracteriza-se as diversas zonas do Palácio em níveis de importância e as respetivas condições:

- **NMD  $\leq$  3,15**, para a zonas do percurso turístico, incluindo a loja, a zona VIP e os vãos da fachada Sul mais expostos ao público (Zona 1);
- **3,5  $\leq$  NMD  $<$  4,0**, para as zonas dos gabinetes da direção, biblioteca, arrecadações e outras zonas (Zona 2).

Apesar da fachada Norte poder ser visitada, inclui-se na segunda condição (exceto os vãos que pertencem ao percurso turístico) por não pertencer ao circuito turístico e porque a orientação Norte ter uma taxa de degradação significativamente menor comparando com as outras direções. Estas duas condições delimitam a construção dos modelos de gestão de manutenção.

#### 5.4.2. Estabelecimento do contexto

Durante o levantamento de 2015 observou-se que diversas caixilharias do Palácio Nacional de Sintra apresentam um nível de degradação elevado, sobretudo nas direções Oeste e Sul, e que existem elementos de nível 4 em todas as direções. Assim, pode-se concluir que num futuro próximo vai ser necessário realizar-se obras de reabilitação ao nível dos vãos de madeira, estando também de acordo com a Tabela 5.6 (ver Capítulo 5.1.1). Nas hipóteses de modelo de gestão apresentadas considera-se a realização de obras de reabilitação, em todas as caixilharias, no ano 2017, sendo o ano 0 para a avaliação das hipóteses.

Na Tabela 5.11 apresenta-se a situação atual das duas zonas de importância do Palácio, conseguindo-se catalogar 257 vãos (85,4% das caixilharias exteriores do Palácio).

Tabela 5.11 - Níveis de degradação por zonas de importância

	Nível de Degradação					Total
	0	1	2	3	4	
Zona 1	6	13	48	46	4	117
Zona 2	11	34	52	34	9	140
Total	17	47	100	80	13	257

Apesar das portas e das janelas que se encontram protegidas da ação direta da radiação solar e da água da precipitação estarem distribuídas pela Zona 1 e Zona 2, no planeamento das empreitadas de reabilitação incluíram-se todas na Zona 2. A taxa de degradação destes elementos é muito inferior quando comparado com os vãos que se encontram expostos diretamente aos agentes degradação, visto que, em 12 anos o nível máximo de degradação que se observou foi 2, não comprometendo nenhum requisito anteriormente mencionado.

### 5.4.3. Método de avaliação da melhor proposta

Para avaliar qual o melhor planeamento de manutenção é preciso ter em conta as condições anteriormente mencionadas, que o modelo deve cumprir e os custos das empreitadas planeadas. A melhor opção é aquela que obedece a todas as cláusulas impostas com os menores gastos. No estudo em análise, para avaliar os custos do modelo de gestão recorre-se à técnica do Custo Anual Equivalente (CAE). O CAE é um método de rentabilidade que visa fundamentalmente a comparação entre investimentos que diferem sobretudo dos montantes e períodos de análise, mas com o mesmo grau de risco. Assim, o CAE é o método que se mais enquadra para a análise de viabilidade dos custos das hipóteses de modelos de gestão sugeridas, no capítulo 5.4.4. Para calcular o CAE recorre-se à seguinte equação:

$$CAE = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t} \times \frac{d \times (1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \quad (5.2)$$

Onde,

$$C_t = C_{Atual} \times (1+I)^t \quad (5.3)$$

$C_t$  – Custos, no instante  $t$  (€/m<sup>2</sup>);

$C_{Atual}$  – Custos no ano atual (€/m<sup>2</sup>);

$d$  – Taxa de atualização;

$I$  – Taxa de inflação;

$t$  – Número do instante (ano);

$N$  – Período de análise (ano).

Para calcular os custos futuros, no instante pretendido, recorre-se a uma taxa de inflação constante igual a 1,494%, sendo este valor obtido através da média das taxas inflação entre 2003 e 2015.

Idealmente, devia-se multiplicar o somatório das áreas das janelas e portas pelos custos futuros, porém, esse cálculo não é possível de se realizar por falta de informação sobre as dimensões de alguns vãos, visto que o

difícil acesso não permitiu efetuar este levantamento na sua totalidade. Assim, multiplicou-se apenas pelo número de caixilharias sendo os CAE expressos em €/AMC (Área Média de Caixilharia =  $\sum(\text{áreas das caixilharias observadas}) / n^\circ$  de caixilharias). A AMC é igual à divisão do somatório das áreas das caixilharias registadas pelo número de caixilharias. Contudo, este altera consoante se esteja a analisar a Zona 1, Zona 2 ou o Palácio na sua totalidade. Através da Equação (5.4) exemplifica-se o cálculo dos custos de manutenção das caixilharias direcionadas a Este, para 9 anos de idade.

$$C_{t=9, \text{Este}} = \text{número de caixilharias com direção Este} \times \text{custo do nível de degradação das caixilharias a Este, para } t = 9 \quad (5.4)$$

No método do CAE, geralmente o período de análise equivale ao tempo de vida útil do empreendimento. No entanto, neste estudo é obtido pelas condições limite ao nível de degradação impostas aos modelos de gestão das caixilharias. Como o estudo propõe ciclos de manutenção, o N não deve ter valores nem muito baixos (pouco rigor na análise de rendibilidade das opções, e.g. 1 ou 2 anos) e nem muito elevados (pouca credibilidade na previsão dos valores de  $C_t$ , e.g. 50 anos). Assim, optou-se por um período de análise de aproximadamente 30 anos tornando a avaliação dos CAE fiável.

No presente estudo considera-se uma taxa de atualização nominal de valor 4% tendo em consideração o período do estudo, tipo de estratégias de manutenção e sobretudo o tipo de investimento. Usualmente, a taxa de atualização está associada a um empréstimo realizado por uma entidade (e.g. um banco), porém, isso não se sucede para o Palácio Nacional de Sintra. O Palácio é administrado por uma empresa pública que consegue proporcionar capital para futuros investimentos através das receitas que a entradas nos palácios gera ou do aluguer de espaços para eventos. O dinheiro utilizado na manutenção de monumentos não tem como objetivo obter rendimento mas preservar o património histórico. A ACCV aplicada a um plano de manutenção das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra tem como objetivo otimizar a utilização do dinheiro, sendo um investimento sem um risco associado. Com este valor de taxa de atualização, também se pretende que não se conceda favorecimento a nenhuma das estratégias apresentadas no Capítulo 5.4.4. Para o cálculo dos custos futuros, utiliza-se a taxa de atualização nominal ao invés da real, visto que os custos são obtidos por valores documentados e pelos índices de preços.

#### 5.4.4. Hipóteses de modelos de gestão da manutenção

Para elaborar o modelo de gestão das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra tem-se em consideração as duas zonas que distinguem os limites dos níveis de degradação. Para obedecer as condições impostas recorre-se à regressão linear de degradação superior do intervalo de confiança 95% limitando-se o seu valor a 3,15, para a Zona 1, e a 3,75, para a Zona 2. Apesar da imposição para Zona 1 ser um nível de degradação igual a 3,15 existe uma ligeira flexibilidade neste valor, pois este apenas representa um nível 3 de ligeira degradação. Para a Zona 2, assegura-se que o nível de degradação não atinja o valor de degradação 4 (Figura 5.10).

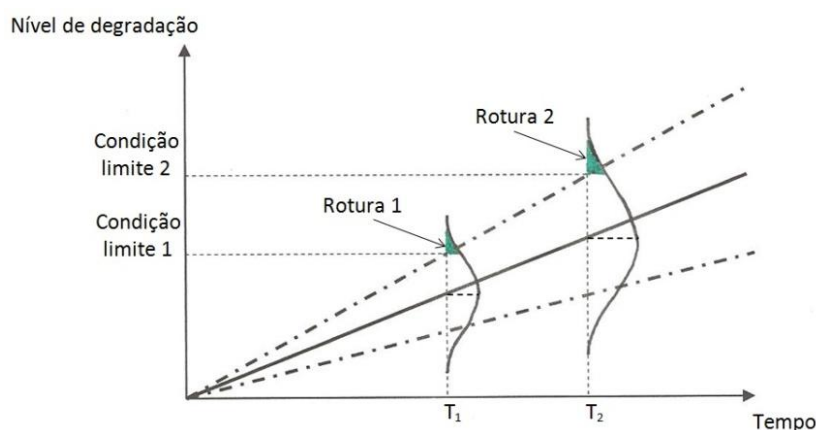


Figura 5.10 – Gráfico esquemático das condições limites para a Zona 1 e Zona 2

### **Estratégia 1 – Condicionado por Oeste**

No Capítulo 5.2 (ver Figura 5.8), constatou-se que as caixilharias orientadas a Oeste apresentam a maior taxa de degradação. Assim sendo, os limites do modelo de degradação devem ser analisados sobre esta orientação solar. Pela regressão linear de Oeste, para o intervalo de confiança -95%, a idade limite para a Zona 1 é de 9 anos e para a Zona 2 de 11 anos. Os níveis médios de degradação, pelas regressões da Figura 5.8, tendo a direção Oeste como condicionadora, apresentam-se dentro dos limites e como uma margem significativa (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 – Nível de degradação para cada orientação, condicionados por Oeste

		Orientação			
		Este	Sul	Oeste	Norte
Nível de Degradação	Zona 1	2,10	2,44	2,65	1,67
	Zona 2	2,57	2,98	3,24	2,04

Através da Tabela 5.12, comprova-se que a primeira hipótese de modelo de gestão é válida, sendo as empreitas da Zona 1 realizadas de 9 em 9 anos e da Zona 2 em cada 11 anos.

### **Estratégia 2 – Divisão do Palácio**

Pela arquitetura do Palácio Nacional de Sintra existe a possibilidade de combinar a degradação da ala Manuelina com a do corpo Joanino. Para o corpo Manuelino, determina-se pela orientação Sul o período das intervenções da Zona 1, visto que nesta parte do Palácio não existem caixilharias orientadas a Oeste pertencentes à Zona 1. Para a Zona 2 e para o corpo Joanino, mantém-se a orientação Oeste como condicionante (analisado na hipótese 1).

Pela regressão linear de Sul, para o intervalo de confiança -95%, a idade limite para a Zona 1 é de 10 anos e para a Zona 2 de 11 anos (pela regressão linear de Oeste), obtendo-se os valores dos níveis médios de degradação do Corpo Manuelino para cada orientação (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Nível de degradação para cada orientação do corpo Manuelino, condicionados por Sul

		Orientação			
		Este	Sul	Oeste	Norte
Nível de Degradação	Zona 1	2,34	2,71	2,94	1,85
	Zona 2	2,57	2,98	3,24	2,04

Através da Tabela 5.13, observa-se que os valores da Zona 1 apresentam uma margem significativa até atingir o limite. No entanto, não fazendo sentido realizar uma empreitada apenas com 18 elementos aos 10 anos de idade, avalia-se a situação da Zona 1 para os 11 anos de idade. Numa análise à ala Manuelina aos 11 anos, pela regressão linear de Sul, para o intervalo de confiança -95%, verifica-se que o nível de degradação tem o valor de 3,37, sendo um valor aceitável para a condição da Zona 1. Assim, o modelo de manutenção das caixilharias seria faseado em 2 períodos: o primeiro de 9 em 9 anos para a Zona 1 da ala Joanino; e a segunda fase de 11 em 11 anos reabilitando todo o corpo Joanino e a Zona 2 do corpo Joanino.

### **Estratégia 3 – Intervenção preventiva**

Nesta hipótese apresenta-se um modelo de gestão com intervenções de 5 em 5 anos. Esta solução tem como objetivo avaliar o comportamento dos custos, a longo prazo, de uma manutenção mais periódica de todo o Palácio. Com 5 anos de idade, as condições impostas pela Zona 1 e Zona 2 encontram-se satisfeitas e apresenta-se os níveis médios de degradação na Tabela 5.14.

**Tabela 5.14 - Nível de degradação para cada orientação com 5 anos de idade**

	Orientação			
	Este	Sul	Oeste	Norte
Nível de Degradação	1,17	1,36	1,47	0,93

Como as caixilharias na orientação Norte, ao fim de 5 anos, apresentam ainda um estado de degradação 0, para esta orientação a manutenção realiza-se de 10 em 10 anos, apresentando um nível de degradação igual a 1,85.

### **Estratégia 4 – Intervenção tardia**

Ao contrário da solução anterior, com a estratégia 4 pretende-se adiar a reabilitação das caixilharias até ao limite da degradação. Para esta hipótese admitiu-se que as caixilharias pertencentes à Zona 1 estiverem-se condicionadas pelos requisitos da Zona 2. Desta maneira, todas as caixilharias são condicionadas pela direção Oeste sendo as intervenções realizadas de 11 em 11 anos, com respetivos níveis médios de degradação apresentados na Tabela 5.15.

**Tabela 5.15 - Nível de degradação para cada orientação com 11 anos de idade**

	Orientação			
	Este	Sul	Oeste	Norte
Nível de Degradação	2,57	2,98	3,24	2,04

#### **5.4.5. Comparação económica das estratégias de manutenção**

A avaliação económica das hipóteses de modelo de gestão de manutenção das caixilharias de madeira sugeridas anteriormente é elaborada pelo método do CAE, apresentado no Capítulo 5.4.3. Através deste método pretende-se determinar qual a melhor estratégia económica de reabilitação vãos do Palácio Nacional de Sintra. Para o cálculo dos custos futuros é necessário dividir os elementos pela Zona 1 e pela Zona 2 e por Corpo Joanino e Manuelino (Tabela 5.16).



Tabela 5.16 – Distribuição das caixilharias pelas Zonas 1 e 2 e pelos Corpos do Palácio

		Orientação			
		Este	Sul	Oeste	Norte
Corpo Manuelino	Zona 1	3	13	0	2
	Zona 2	16	7	9	17
	Total	19	20	9	19
Corpo Joanino	Zona 1	23	46	19	20
	Zona 2	22	30	38	34
	Total	45	76	57	54
Todo o Palácio	Zona 1	26	59	19	22
	Zona 2	38	37	47	51
	Total	64	96	66	73

Na Tabela 5.17, apresenta-se os valores dos custos futuros atualizados ( $C_{t,atu}$ ) para o cálculo dos CAE, em cada período de análise, e o valor dos respetivos CAE de cada estratégia podendo-se comparar-se as várias hipóteses.

Tabela 5.17 - Custos futuros atualizados, no instante t, e CAE das hipóteses apresentadas

Instante (Anos)	$C_{t,atu}$ em cada instante												Total $C_{t,atu}$ €/AMC	CAE €/AMC
	5	9	10	11	15	18	20	22	25	27	30	33		
Estratégia 1	-	11867	-	18069	-	9528	-	13817	-	7650	-	10566	71498	3940
Estratégia 2	-	10140	-	19768	-	8141	-	15116	-	6537	-	11559	71261	3927
Estratégia 3	17711	-	20741	-	13878	-	16252	-	10874	-	12735	-	92190	5331
Estratégia 4	-	-	-	30664	-	-	-	23448	-	-	-	17852	71964	3965

Pela análise do CAE exibidos na Tabela 5.17, constata-se que a estratégia 3 apresenta o maior CAE das opções propostas tornando-se na hipótese mais desvantajosa. Assim, conclui-se que uma manutenção preventiva das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra não proporciona um melhor investimento económico comparado com soluções de reabilitação com menor periodicidade.

Desta forma, a sugestão de manutenção apresentada no estudo de Sousa (2003) não representa a melhor solução a nível económico. No entanto, no trabalho de Sousa (2003), a periodicidade de reabilitação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra apenas teve em consideração a preservação do património histórico e o aspeto estético, sem conhecimento dos limites de degradação dos vãos e sem a sua análise económica.

Apesar das estratégias 1, 2 e 4 apresentarem valores de CAE relativamente próximos, a estratégia 4 excede significativamente o limite imposto pela Zona 1. Nesta hipótese observa-se que o esquema de pintura das caixilharias presentes na Zona 1, com 11 anos de idade, pode apresentar um nível de degradação superior a 3,75. Desta maneira, conclui-se que a opção que obedece a todas as cláusulas impostas e com melhor rentabilidade económica é a estratégia 2 (Figura 5.11).

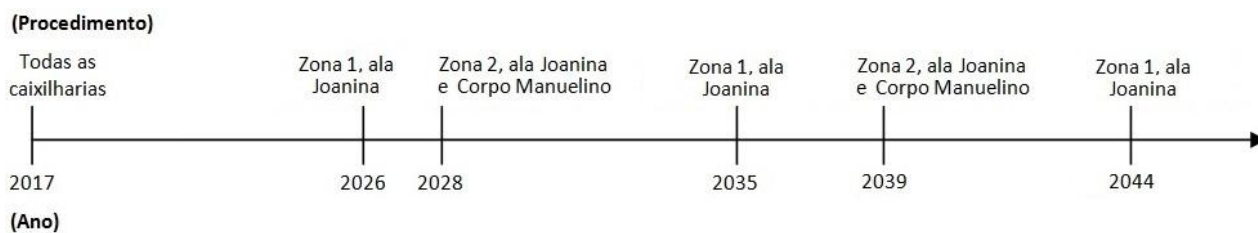


Figura 5.11 – Planeamento das intervenções da estratégia 2

#### 5.4.6. Análise estocástica do plano da manutenção

A análise das estratégias do capítulo anterior foi realizada através dos valores médios de degradação e dos custos de reabilitação, em cada ano de cálculo. No entanto, esta análise determinística ignora a dispersão elevada dos seus valores mínimos, médios e máximos. Assim, houve a necessidade de se avaliar a variação dos custos das intervenções dos respetivos níveis de degradação, para um dado instante. Para uma análise estocástica do plano de manutenção recorreu-se ao *software* Oracle Crystal Ball que consiste numa aplicação com base numa folha de cálculo para realizar previsões, simulações e otimizações através da análise de Monte Carlo.

No presente subcapítulo teve-se em consideração as limitações e imposições feitas ao longo do Capítulo 5.4, ou seja: para a Zona 1 o nível de degradação não deve ser superior a 3,15; no caso da Zona 2 a deterioração não deve exceder um nível de 3,75; e 2017 é considerado o ano 0 de idade dos vãos.

O estado de degradação em cada orientação solar apresenta uma variação para uma dada idade. Esta variação tem influência nos custos de manutenção que podem ser caracterizados por uma distribuição probabilidades, como se pode constatar através da Figura 5.12. No Oracle Crystal Ball existem diversas distribuições que se pode assumir, contudo, para o presente estudo utilizou-se a distribuição beta-PERT sendo definida pelos valores mínimo, médio e máximo, respeitando assim as curvas de degradação (ver Capítulo 5.2) e dos custos de reabilitação (ver Capítulo 5.3).



Figura 5.12- Distribuição de probabilidades (beta-PERT) dos custos de reparação das caixilharias para 8 e 9 anos, para Este

As caixilharias orientadas a Este, com 8 anos de idade, podem ter um nível de degradação 1 de mínima, 1 de média e 2 máxima, e aos 9 anos apresentam 1 de mínima, 2 de média e 2 de máxima. Neste exemplo, o aumento do valor médio é responsável pela variação do andamento das curvas de distribuição dos custos da Figura 5.12. Este tipo de comportamento verificou-se sempre que existia uma variação do nível de degradação, sobretudo nos valores de média e máximo ou para um nível de degradação 0, pois, não existe um custo de manutenção associado a este nível.

As flutuações dos custos ao longo do tempo têm influência no valor dos CAE e, conseqüentemente, no plano de gestão da manutenção dos vãos. Assim, com auxílio do Oracle Crystal Ball, otimizou-se o valor mediano dos CAE em função da distribuição de probabilidades dos custos. Na Figura 5.13 compara-se a análise probabilística com a determinística, entre os 5 e os 11 anos de idade. A limitação do temporal deve-se aos seguintes fatores: antes dos 5 anos as portas e janelas não apresentam deterioração que justifique uma intervenção; e após os 11 anos de idade os vãos da orientação Oeste podem chegar ao 4 nível de degradação, ultrapassando os limites impostos.

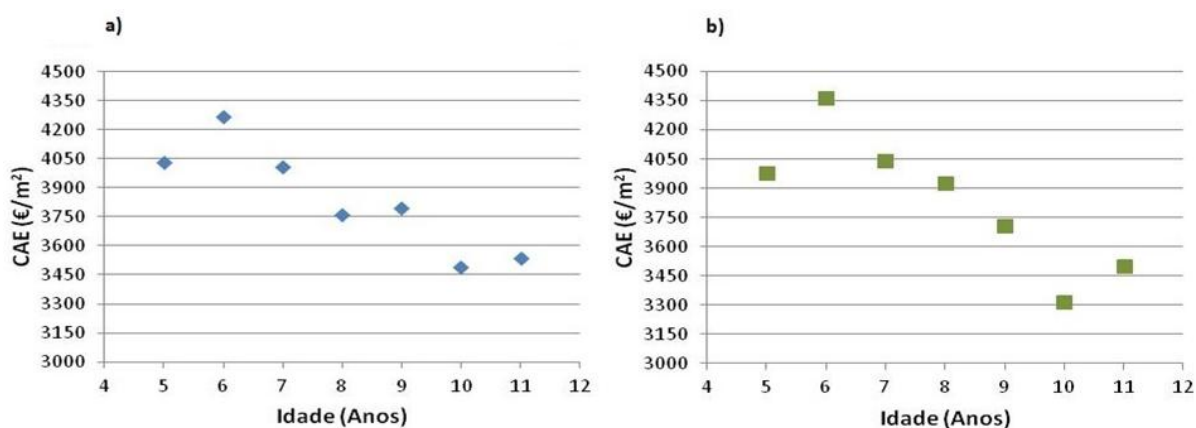


Figura 5.13 – Comparação dos CAE entre os 5 e os 11 anos de idade: a) análise estocástica; b) análise determinística

As diferenças existentes nos gráficos da Figura 5.13 devem-se sobretudo à utilização apenas de valores médios na abordagem determinística e na análise estocástica tem-se também em consideração um valor mínimo e máximo, obtendo-se uma distribuição de probabilidades para os custos das intervenções, em função da variação dos níveis de degradação. A maior diferença entre os gráficos a) e b) encontra-se no ponto de 9 anos de idade devido à evolução do nível de degradação das caixilharias comparativamente ao ano anterior (Tabela 5.18).

Tabela 5.18 – Níveis de degradação entre os 8 e os 9 anos de idade dos vãos

Idade	Nível de degradação											
	Este			Sul			Oeste			Norte		
	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo
8	1	1	2	1	2	2	1	2	2	0	1	1
9	1	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	2

Na análise estocástica, este ponto apresenta um incremento do CAE relativamente ao ano anterior pois existe evolução da deterioração em todas as direções, enquanto na abordagem determinística ocorre apenas para a orientação Sul. Desta forma, consegue-se compreender a importância de se atribuir uma distribuição aos custos de reabilitação na avaliação dos CAE.

Através da Figura 5.13 pode-se também observar que os valores de CAE não apresentam uma variação linear havendo diminuições e aumentos durante o período de análise. Este fenómeno, como referido anteriormente, deve-se pelo aumento dos custos de intervenção pela evolução da degradação de um ano para outro. Por exemplo, para os 11 anos, existe um aumento do nível de deterioração máxima para orientação Este (de 2 para 3) e do nível médio em Oeste (de 2 para 3) e Norte (de 1 para 2). Neste caso, os incrementos dos custos

apresentam maior influência no cálculo dos CAE do que a expoente do parâmetro tempo (ver Equação (5.2), página 67). Porém, deve-se verificar se esta relação entre os custos e tempo se mantém para maiores períodos de análise. Desta forma, apresenta-se uma nova estratégia do planeamento da manutenção das caixilharias de madeira (estratégia 5) que consiste em ciclos de 10 anos durante um período de utilização de 30 anos.

Na Tabela 5.19 apresenta-se valores de cálculo do CAE da estratégia 5 através de uma abordagem determinística de forma a comparar-se com os valores das estratégias apresentados no Subcapítulo 5.4.5

**Tabela 5.19 - Custos futuros atualizados, no instante t, e CAE das hipóteses 5 e 6**

Instante (Anos)	C <sub>t,atu</sub> em cada instante			Total C <sub>t,atu</sub> (€/AMC)	CAE (€/AMC)
	10	20	30		
<b>Estratégia 5</b>	26914	21089	16525	64528	3732

Através da Tabela 5.19 pode-se concluir que, pela análise determinística, a estratégia 5 apresenta menor CAE que a melhor estratégia apresentada no Subcapítulo 5.4.5, sendo assim uma solução com melhor viabilidade económica.

Pela análise probabilística calcula-se os valores otimizados de CAE para a estratégia 2 e 5, através do Oracle Crystal Ball, minimizando os seus valor de média. Os cálculos efetuados têm em consideração a distribuição de probabilidades dos custos em cada instante e o respetivo período de avaliação. Nesta análise o valor de CAE para a estratégia 2 é igual a 3795€/AMC e o valor da estratégia 5 é de 3919€/AMC. Quando se recorre a uma abordagem estocástica observa-se que estratégia 5 apresenta maior CAE otimizado que a estratégia 2, situação contrária aquando se utiliza um cálculo determinístico. Através da análise estocástica, constatou-se também que a combinação entre a soma dos custos de reabilitação, associados ao nível de degradação, e o período de análise do planeamento é o fator decisivo na avaliação dos CAE. O valor dos custos futuros, em função da degradação, têm maior expressão quanto maior for o intervalo de tempo de análise.

As conclusões diferem devido à utilização apenas de valores médios na abordagem determinística e na análise estocástica tem-se também em consideração um valor mínimo e máximo, obtendo-se uma distribuição de probabilidades para os custos de manutenção, em função da variação dos níveis de degradação. Assim, pode-se concluir que a segunda abordagem apresenta maior rigor no valor do cálculo dos CAE e que a estratégia 2 é a solução mais indicada para um planeamento da gestão da manutenção das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra.

Porém, como o cálculo dos CAE depende de uma distribuição de probabilidades dos custos futuros, a previsão dos valores CAE também apresenta uma variação em função de uma distribuição probabilidades. Na Figura 5.14 apresenta-se os gráficos das distribuições de probabilidades dos CAE para cada orientação.

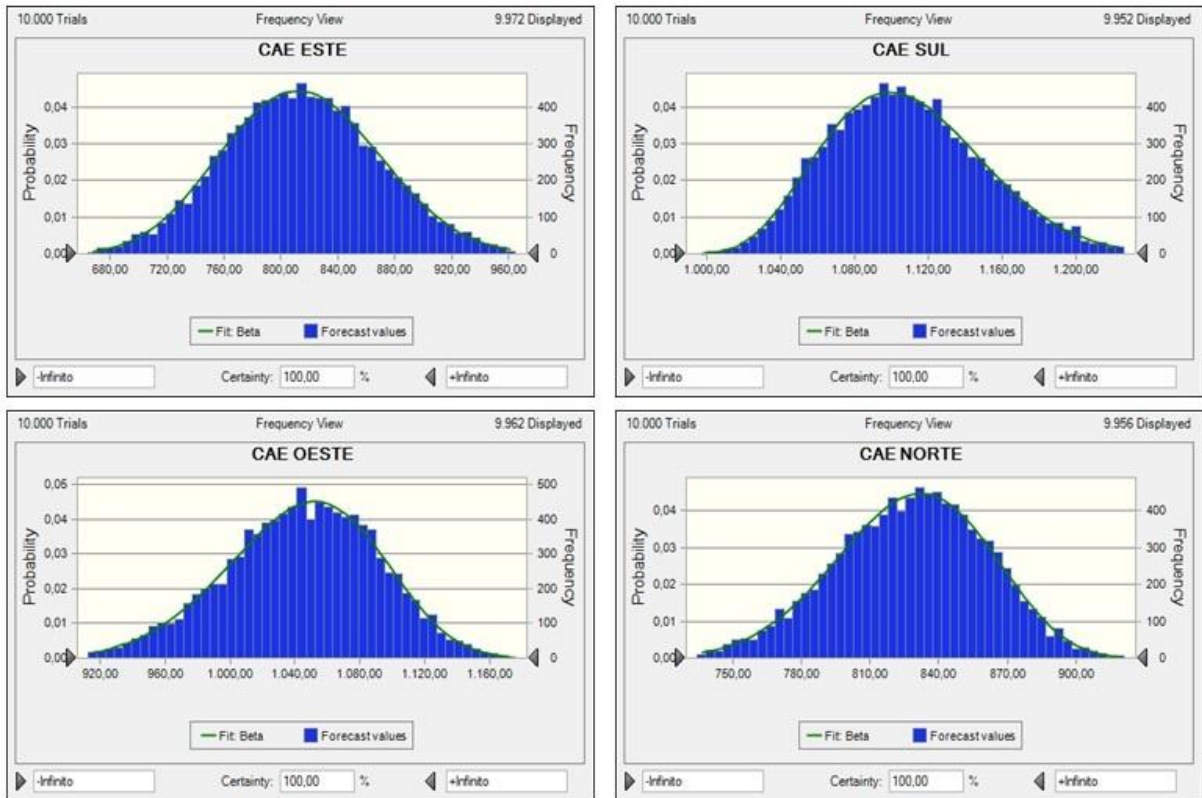


Figura 5.14 – Distribuição de probabilidades dos CAE para cada orientação solar

Assim, através do Oracle Crystal Ball consegue-se prever o valor CAE para um certo grau de certeza. Através da Figura 5.15 demonstra-se a distribuição das probabilidades acumuladas dos CAE para cada orientação solar para um grau de certeza igual a 85%. Deste modo, a tomada de decisão pode ser feita com base no risco e na incerteza.

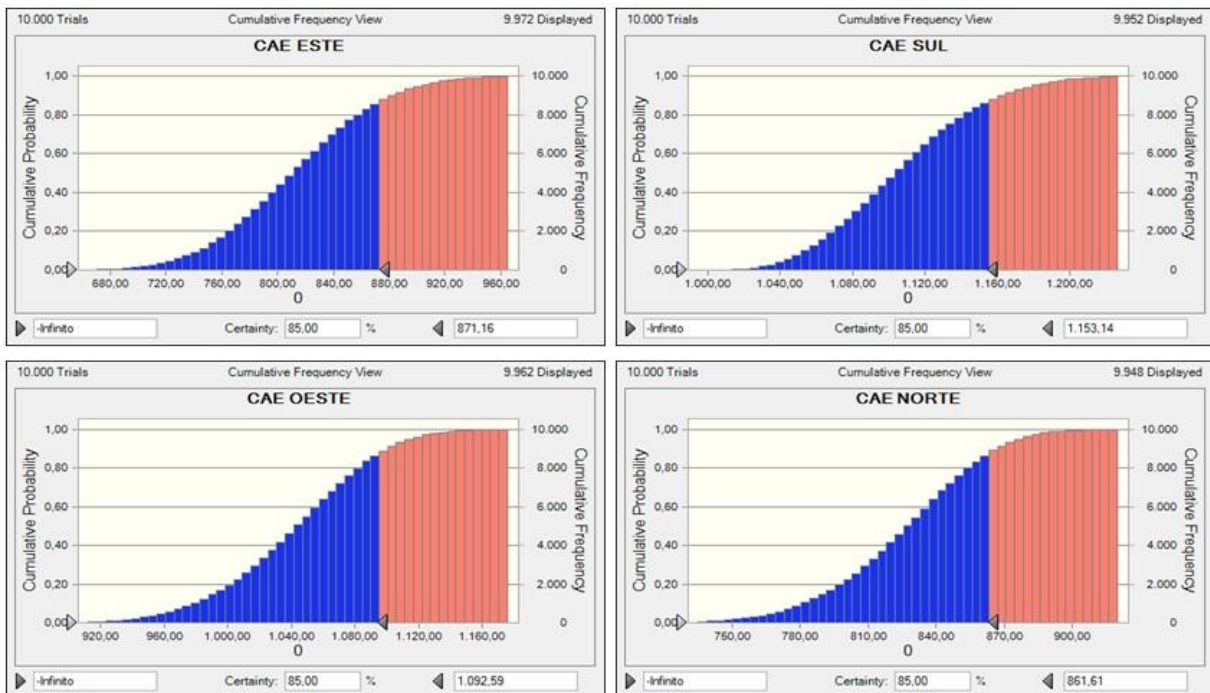


Figura 5.15 – Valor dos CAE da estratégia 2 para um nível de certeza de 85%, para cada orientação

### 5.4.7. Melhoria contínua do modelo de gestão

A estratégia ótima de manutenção das caixilharias de madeira, apresentada anteriormente, apenas tem em consideração a informação recolhida na intervenção realizada no período entre 2002/2003. Assim, existe a necessidade de registar a informação das futuras empreitadas de reabilitação possibilitando uma melhoria contínua no planeamento das intervenções. Na Figura 5.16 apresenta-se um esquema do ciclo de vida de manutenção que tem como principal objetivo monitorizar e melhorar todo o processo de reabilitação das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra.

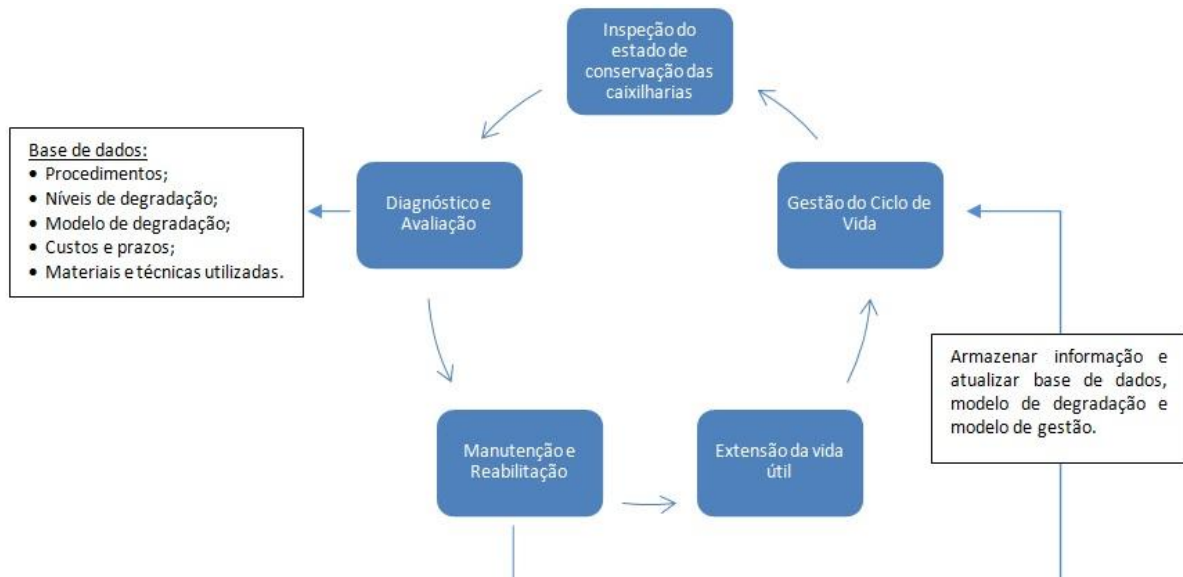


Figura 5.16 – Ciclo de vida da manutenção das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra

Para uma melhor compreensão da evolução da deterioração das caixilharias, recomenda-se uma inspeção anual para se realizar o levantamento o nível de degradação dos vãos e, conseqüentemente, atualizar o modelo de degradação.

A cada empreitada de manutenção das caixilharias deve-se adicionar à base de dados a informação sobre fatores que tenham influência na análise financeira do seu planeamento, tais como:

- custos;
- materiais;
- procedimentos e técnicas.

As intervenções de manutenção das caixilharias de madeira requerem procedimentos e técnicas muito específicas. Assim, com mais informação sobre os preços das intervenções consegue-se elaborar melhores estimativas dos custos das futuras empreitadas, com base em situações semelhantes. Por conseguinte, consegue-se compreender e controlar de forma mais eficaz os valores das propostas dos empreiteiros.

Apesar do preço do material variar, neste tipo de empreitadas, o custo da mão-de-obra tem maior expressão nos custos totais tornando a diferença dos custos dos materiais irrelevante para o planeamento.

O controlo dos materiais utilizados em cada empreitada de manutenção é de extrema importância, pois estes têm grande influência na degradação das caixilharias. A utilização de materiais de reabilitação qualidade inferior à das empreitadas de anteriores irá provocar uma deterioração precoce dos mesmos, obrigando a antecipar as obras de manutenção criando gastos económicos não planeados.

A qualidade dos procedimentos e das técnicas também têm uma forte influência na resistência dos materiais aos agentes degradadores, como foi mencionado por Oliveira (2008). Desta maneira, é de grande importância o registo da execução de procedimentos e técnicas evitando erros durante as obras de reabilitação das caixilharias de madeira.





## 6. Considerações finais

### 6.1. Aspetos relevantes e Conclusões

A presente dissertação pretende contribuir para a implementação da gestão de ativos físicos ao património edificado, sendo materializado através de uma metodologia que serve de apoio à decisão de intervenções em materiais ou componentes do edificado. No presente estudo elaborou-se um modelo de gestão das caixilharias de madeira exteriores do Palácio Nacional de Sintra integrando a degradação das portas e janelas das diversas zonas do Palácio e os custos das intervenções em função do seu nível de degradação.

O modelo degradação apresentado no presente estudo foi elaborado através do estado de degradação das caixilharias registado nos anos de 2003, 2013 e 2015. Através da equação do modelo de degradação proposto calcula-se o NMD em função da idade e da ação dos agentes da degradação nomeadamente, a radiação solar e a água da precipitação sobre a influência do vento, para cada orientação solar. Contudo, comprovou-se que a radiação solar tem maior influência na degradação no esquema de pintura do que a água de precipitação. Neste estudo, concluiu-se que o modelo de degradação das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra apresentado por Sousa, Pereira, e Meireles (2015) aparenta estar bem formulado, pois, os níveis de degradação de 2013 calculados no presente estudo apresentam valores idênticos aos de Sousa, Pereira, e Meireles (2015).

Os custos analisados tiveram como base os custos das intervenções realizadas em 2003, atribuindo-se uma distribuição de valores para nível de degradação. Estes valores foram atualizados até ao ano de 2015 através do IPMRRH, registando-se que desde 2011 os custos de intervenção se mantêm quase inalterados. Para o cálculo dos custos das futuras intervenções assumiu-se uma taxa de crescimento constante igual à média das taxas de inflação entre 2003 e 2015 ( $I = 1,494\%$ ). No presente estudo considera-se uma taxa de atualização nominal de valor 4% tendo em consideração o período do estudo, tipo de estratégias de manutenção e sobretudo o tipo de investimento, sendo um investimento sem um risco associado. Com este valor de taxa de atualização também se pretende que não se conceda favorecimento a nenhuma das estratégias apresentadas.

Com esta informação base, desenvolveu-se 5 estratégias de gestão da manutenção das caixilharias do Palácio Nacional de Sintra, tendo em consideração os limites impostos aos valores de degradação pela direção do Palácio. Com os valores dos custos das futuras intervenções, foi possível comparar as diferentes estratégias a nível dos custos através da técnica dos CAE. O cálculo dos CAE foi realizado através de uma abordagem determinística e de uma abordagem estocástica. Para a primeira utilizou-se os valores médios da degradação e dos custos obtendo-se apenas um valor CAE para cada estratégia. Na abordagem estocástica considerou-se uma distribuição dos custos com base no seu valor mínimo, médio e máximo associado ao nível de degradação das caixilharias para o ano de análise. Na Tabela 6.1 apresenta-se os valores calculados dos CAE das 5 estratégias formuladas no presente trabalho para cada abordagem.

Tabela 6.1 – Valores dos CAE para as 5 estratégias apresentadas

	CAE (€/AMC)	
	Determinística	Estocástica
Estratégia 1	3940	-
Estratégia 2	3927	3795
Estratégia 3	5331	-
Estratégia 4	3965	-
Estratégia 5	3732	3919

Deste modo, na presente dissertação concluiu-se que os valores de CAE calculados pela abordagem estocástica apresentam maior rigor do que na determinística e que a estratégia 2 é a melhor solução para a gestão das caixilharias de madeira do Palácio Nacional de Sintra, com CAE otimizado de valor de 3795€/AMC. Esta estratégia consiste num plano de manutenção de ciclos com as seguintes fases: de 9 em 9 anos realiza-se uma empreitada nas caixilharias pertencentes ao percurso turístico da ala Joanina; e de 11 em 11 anos uma empreitada para as restantes caixilharias. No entanto, a metodologia apresentada consiste também na melhoria contínua da gestão das caixilharias de modo a atualizar os seguintes aspetos: i) procedimentos; ii) materiais e técnicas utilizadas; iii) modelos de degradação; e iv) custos das intervenções.

## 6.2. Recomendações e desenvolvimentos futuros

Durante a realização da presente dissertação identificou-se alguns conteúdos que poderiam ser abordados de forma a complementar o trabalho apresentado. Assim, recomendam-se alguns temas a ser desenvolvidos no futuro:

- analisar a evolução da degradação das portas e janelas entre os 0 e os 10 anos de idade e avaliar o modelo até à degradação total dos vãos. Esta análise permite compreender se o modelo de degradação tem ou não um comportamento linear ao longo da idade dos vãos;
- estudar as várias componentes dos custos (materiais, mão-de-obra e estaleiro). Com esta informação consegue-se ajustar o planeamento das intervenções aos custos com maior expressão;
- comparar os custos de reabilitação de um caixilharia com o custo da sua substituição por uma nova. No entanto, a construção das novas caixilharias deve manter idêntico o seu desenho e materiais para preservar o valor histórico e arquitetónico do Palácio;
- a metodologia apresentada deve ser generalizada para a gestão integrada do património estabelecendo prioridades entre todos os elementos que compõem o ativo edificado.

## Referências bibliográficas

- Agrawal, a. K., A. Kawaguchi, e Z. Chen. 2010. «Deterioration Rates of Typical Bridge Elements in New York». *Journal of Bridge Engineering* 15 (4): 419–29. doi:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000123.
- Alfredsen, G., C. Brischke, P.-O. Flæte, M. Humar, e L. Meyer-Veltrup. 2016. «On the effect of climate and exposure conditions on durability indicators and their potential for service life prediction of wood-based products». Em *2016 The International Research Group on Wood Protection IRG/WP - 47th IRG Annual Meeting Lisbon, Portugal*.
- Alipour, a., B. Shafei, e M. Shinozuka. 2010. «Life Cycle Cost Analysis of Reinforced Concrete Highway Bridges in Chloride Contaminated Environments». Em *Structures Congress 2010*, 644–53. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41130(369)59.
- Asif, M. 2002. «Life cycle assessment of aluminium-clad timber windows». Ph.D. thesis, Edinburgh Napier Univ., Edinburgh, Scotland
- Asif, M., T. Muneer, e J. Kubie. 2005. «Sustainability analysis of window frames». *Building Services Engineering Research and Technology* 26 (1): 71–87. doi:10.1191/0143624405bt118tn.
- Au, Tung. 1988. «Profit Measures and Methods of Economic Analysis for Capital Project Selection». *Journal of Management in Engineering* 4 (3): 217–28. doi:10.1061/(ASCE)9742-597X(1988)4:3(217).
- Balaras, Constantinos A., Kalliopi Droutsa, Elena Dascalaki, e Simon Kontoyiannidis. 2005. «Deterioration of European apartment buildings». *Energy and Buildings* 37 (5): 515–27. doi:10.1016/j.enbuild.2004.09.010.
- Bamforth, P., e M. Alisa. 2003. «Probabilistic approach for predicting life cycle costs and performance of buildings and civil infrastructure». *ILCED 2003: Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures*, 1–6.
- Bayer, C., M. Gamble, R. Gentry, e S. Joshi. 2010. *Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice*. American Institute of Architects.
- Boussabaine, A, e R Kirkham. 2004. *Whole Life-Cycle Costing*. Editado por Halim A. Boussabaine e Richard J. Kirkham. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. doi:10.1002/9780470759172.
- Brischke, Christian, e Andreas Otto Rapp. 2008. «Dose–response relationships between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites». *Wood Science and Technology* 42 (6): 507–18. doi:10.1007/s00226-008-0191-8.
- BSI, (British Standards Institution). 2013. *Paints and varnishes—Coating materials and coating systems for exterior wood. Classification and selection. BS EN 927-1*. London.
- Cesare, Mark A, Carlos Santamarina, Carl Turkstra, e Erik H Vanmarcke. 1992. «Modeling Bridge Deterioration with Markov Chains». *Journal of Transportation Engineering* 118 (6): 820–33. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1992)118:6(820).
- Chai, C., J. de Brito, P. L. Gaspar, e A. Silva. 2014. «Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies». *Journal of Construction Engineering and Management* 140 (3): 4013057. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000812.
- Chambers, J. Henry. 1976. *Cyclical Maintenance for Historic Buildings*. Editado por Office of Archeology and Historic Preservation National Park Service U.S. Department of the Interior.
- Chan, Arthur, Gregory Keoleian, e Eric Gabler. 2008. «Evaluation of Life-Cycle Cost Analysis Practices Used by the Michigan Department of Transportation». *Journal of Transportation Engineering* 134 (6): 236–45.

doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2008)134:6(236).

- Cho, Hyo-Nam, Jung-Ho Kim, Young-Min Choi, e Kwang-Min Lee. 2003. «Practical Application of Life-Cycle Cost Effective Design and Rehabilitation of Civil Infrastructures». Em *Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures*, 295–311. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40707(240)31.
- Christian, John, e Amar Pandeya. 1997. «Cost predictions of facilities». *Journal of Management in Engineering* 13: 52–61.
- Citherlet, Stéphane, Francesca Di Guglielmo, e Jean-Bernard Gay. 2000. «Window and advanced glazing systems life cycle assessment». *Energy and Buildings* 32 (3): 225–34. doi:10.1016/S0378-7788(98)00073-5.
- Clift, Michael. 2003. «Life-cycle costing in the construction sector». *UNEP Industry And Environment*, n. September: 37–41.
- Cruz, Helena, e Lina Nunes. 2012. «Madeira». Em *Ciência e Engenharia de Materiais de Construção*, 629–61. IST Press, Lisboa.
- Daniel, Tom, Marc S Hirsch, Ken McClelland, Alan S Ross, e R Sam Williams. 2004. «Clear Exterior Finishes: Finding the Balance Between Aesthetics and Durability». *JCT CoatingsTech*, n. September.
- Davies, Kevin. 2013. «The rediscovery of ancient wisdom.» <https://www.idmarch.org/document/Cross-cultural+studies/1dPu3-show/The+rediscovery+of+ancient+wisdom+Eco-paint,+Green+paint,+Alkyd+paint,+Acrylic+paint?+Confused?+Architect+Kevin+Davies+explains+the+revival+of+traditional+linseed+oil+paint.+The+humble+fla>.
- de Brito, Jorge, Vítor Sousa, e Telmo Dias Pereira. 2006. «Anomalies in the Sintra National Palace wood-framing». *Journal of Building Appraisal* 2 (3): 193–206. doi:10.1057/palgrave.jba.2950038.
- Dias, Luís Alves. 2012. *Documento de apoio às aulas da Disciplina de Organização e Gestão de Obras*. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Domingos, Sónia Isabel Sequeira. 2008. «Microclimatologia do Município de Sintra com base em estações meteorológicas». Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Edirisinghe, Ruwini, Sujeeva Setunge, e Guomin Zhang. 2015. «Markov Model — Based Building Deterioration Prediction and ISO Factor Analysis for Building Management». *Journal of Management in Engineering* 31 (6): 1–9. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000359.
- Ekstedt, Jan. 2002. «Studies on the barrier properties of exterior wood coatings». KTH- Royal Institute of Technology.
- Ellingwood, Bruce R. 2010. «The Role of Structural Aging in Achieving Life-Cycle Performance Goals of Civil Infrastructure». Em *Structures Congress 2010*, 2803–8. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41130(369)253.
- EN 335-2. 2006. *Durability of Wood and Wood-based Products. Definition of Use Classes. Part 2: Application to Solid Wood*. CEN, Brussels.
- Eusébio, M Isabel. 2006. «Os produtos de pintura para madeira». Lisboa.Publicações LNEC.
- Evans, D.K., Dr. J.D. Lanham, e Dr. R. Marsh. sem data. «Cost Estimation Method Selection : Matching User Requirements and Knowledge Availability To Methods». Systems Engineering and Estimation for Decision Support (SEEDS) Group, University of West of England, Bristol, UK. doi:10.1.1.163.4470.

- Ferreira, C., L. Neves, J. Matos, e J.S. Soares. 2014. «A degradation and maintenance model: Application to Portuguese context». *Bridge Maintenance, Safety, Management and Life Extension - Proceedings of the 7th International Conference of Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2014*, 1988–94.
- FHWA, Federal Highway Administration. 1999. «Asset Management Primer». *U.S. Department of Transportation*.
- Forest and Wood Products Australia. 2012. «Timber Windows and Doors». Em *Wood Solutions - Design Guide*.
- Frangopol, Dan M., e Kurt Maute. 2003. «Life-cycle reliability-based optimization of civil and aerospace structures». *Computers & Structures* 81 (7): 397–410. doi:10.1016/S0045-7949(03)00020-8.
- Fuller, Sieglinde K., e Stephen R. Petersen. 1996. «LCCosting Manual for the Federal Energy Management Program». *NIST Handbook 135*. doi:10.1108/eb006413.
- Garrido, Mário Alexandre de Jesus. 2010. «PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE PINTURAS DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS- Metodologia baseada na inspeção de edifícios em serviço». Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico.
- Gaspar, Pedro L., e Jorge de Brito. 2011. «Limit States and Service Life of Cement Renders on Façades». *Journal of Materials in Civil Engineering* 23 (10): 1396–1404. doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000312.
- Grussing, Michael N. 2014. «Life Cycle Asset Management Methodologies for Buildings». *Journal of Infrastructure Systems* 20: 1–8. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000157.
- Grussing, Michael N., Liang Y. Liu, Donald R. Uzarski, Khaled El-Rayes, e Nora El-Gohary. 2016. «Discrete Markov Approach for Building Component Condition, Reliability, and Service-Life Prediction Modeling». *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Outubro. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000865.
- Hu, Jiangbi, Zifeng Wang, Yan Liu, e Lingling Gao. 2011. «Model of Bridge Life-Cycle Economy Cost». Em *ICCTP 2011*, 1–12. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41186(421)1.
- IAM, The Institute of Asset Management. 2008. *PAS 55-1:2008 - Asset Management - Part 1: Specification for the optimized management of physical assets*. British Standards Institution. UK.
- ISO. 2008a. *ISO 15686-1: Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 1: General principles and framework*.
- ISO. 2008b. *ISO 15686-2: Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 2: Service life prediction procedures*.
- ISO. 2008c. *ISO 15686-5: Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 5: Life-cycle costing*.
- ISO. 2008d. *ISO 15686-8: Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation*.
- ISO. 2014. «ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology».
- Kong, Jung S., e Dan M. Frangopol. 2003. «Evaluation of Expected Life-Cycle Maintenance Cost of Deteriorating Structures». *Journal of Structural Engineering* 129 (5): 682–91. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:5(682).
- Kovacic, Iva, e Veronika Zoller. 2015. «Building life cycle optimization tools for early design phases». *Energy* 92 (Dezembro). Elsevier Ltd: 409–19. doi:10.1016/j.energy.2015.03.027.
- Krigsvoll, Guri, e Catherine Grini. 2009. «Life-Cycle-Costs in the Planning Process. Constructing Energy Efficient Buildings taking running costs into account (LCC - DATA)».

<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/lcc-data>.

- Langdon, Davis. 2007. *Life Cycle Costing (LCC) as a contribution to sustainable construction: a common methodology*. Final Report. [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Life+cycle+costing+\(+LCC+\)+as+a+contribution+to+sustainable+construction:+a+common+methodology#0\nhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Life+Cycle+Costing+\(+LCC+\)+as+a+](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Life+cycle+costing+(+LCC+)+as+a+contribution+to+sustainable+construction:+a+common+methodology#0\nhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Life+Cycle+Costing+(+LCC+)+as+a+).
- Langon, Davis. 2006. *Literature review of life cycle costing ( LCC ) and life cycle assessment ( LCA )*.
- Lee, Kwang-Min, Hyo-Nam Cho, e Cheol-Jun Cha. 2006. «Life-cycle cost-effective optimum design of steel bridges considering environmental stressors». *Engineering Structures* 28 (9): 1252–65. doi:10.1016/j.engstruct.2005.12.008.
- Lou, Z, M. Gunaratne, J. J. Lu, e B. Dietrich. 2001. «Application of Neural Network Model to Forecast Short-Term Pavement Crack Condition: Florida Case Study». *Journal of Infrastructure Systems* 7 (4): 166–71. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(2001)7:4(166).
- Madanat, Samer, e Wan Hashim Wan Ibrahim. 1995. «Poisson Regression Models of Infrastructure Transition Probabilities». *Journal of Transportation Engineering* 121 (3): 267–72. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1995)121:3(267).
- Madanat, Samer M., Matthew G. Karlaftis, e Patrick S. McCarthy. 1997. «Probabilistic infrastructure deterioration models with panel data». *J. Infrastruct. Syst.* 3 (1): 4–9.
- Marteinsson, B. 2005. «SERVICE LIFE ESTIMATION IN THE DESIGN OF BUILDINGS A DEVELOPMENT OF THE FACTOR METHOD». PhD. Thesis, KTH Research School, Centre for Built Environment Department, Department of Technology and Built Environment, University of Gävle, Sweden
- Menassa, Carol C, e Alexander J. Rexrode. 2010. «Life Cycle Cost Analysis and Real Option Theory for Improved Sustainability in Existing Buildings». Em *Construction Research Congress 2010*, 1477–86. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/41109(373)148.
- Menzies, Gillian F. 2013. «Whole Life Analysis of timber , modified timber and aluminium-clad timber windows: Service Life Planning (SLP), Whole Life Costing (WLC) and Life Cycle Assessment (LCA)». *Report for the Wood Window Alliance, June 2013*, n. June.
- meteoblue. 2016. «meteoblue». Acedido Julho 21. <https://www.meteoblue.com>.
- Mirza, Saeed. 2006. «Durability design of infrastructure and some related issues». *Canadian Journal of Civil Engineering* 33 (6): 650–72. doi:10.1139/I06-078.
- Montes, N. e D`Eça. 1970. *Cálculo de Custos de Construção de Edifícios*. LNEC - Lisboa.
- Morcous, G. 2006. «Performance Prediction of Bridge Deck Systems Using Markov Chains». *Journal of Performance of Constructed Facilities* 20 (2): 146–55. doi:10.1061/(ASCE)0887-3828(2006)20:2(146).
- Morcous, G., H. Rivard, e a. M. Hanna. 2002. «Modeling Bridge Deterioration Using Case-based Reasoning». *Journal of Infrastructure Systems* 8 (3): 86–95. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(2002)8:3(86).
- Morrell, Jeffrey. 2013. «Wood». Em *Environmental Degradation of Advanced and Traditional Engineering Materials*, 623–46. CRC Press. doi:10.1201/b15568-28.
- Nejad, Mojgan. 2011. «Coating Performance on Preservative Treated Wood».
- Oliveira, Dalila Moura. 2008. «ESPECIFICAÇÕES DE ACABAMENTOS PINTADOS OU ENVERNIZADOS PARA

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS EXTERIORES EM MADEIRA». TESE DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS - FEUP.

- Pallasch, Brian, Emily Feenstra, Brittney Kohler, Joshua Schank, Paul Lewis, Marla Westervelt, Emil Frankel, Benton Heimsath, e Finn Vigeland. 2010. «Maximizing the Value of Investments Using Life Cycle Cost Analysis».
- Parques de Sintra-Monte da Lua. 2016. «Palácio Nacional de Sintra». Acedido Abril 14. <https://www.parquesdesintra.pt/parques-jardins-e-monumentos/palacio-nacional-de-sintra/descricao/>.
- PMI. 2008. *PMBOK Guide: A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Fourth Edi. Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc.
- Popescu, Calin M., Nuntapong Ovararin, e Kan Phaobunjong. 2003. *Estimating Building Costs*. Marcel Dekker, Inc, New York, USA. doi:10.1201/9780203912232.
- Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho. 2011. «Regulamento (UE) n. ° 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011 , que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Directiva 89/106/CEE do Conselho Texto relevante para efeito». *Jornal Oficial da União Europeia*, 5–43.
- Richardson, Barry A. 2001. *DEFECTS AND DETERIORATION IN BUILDINGS*. 2<sup>o</sup>. London and New York: Spon Press - Taylor & Francis Group.
- Safi, Mohammed, Håkan Sundquist, e Raid Karoumi. 2015. «Cost-Efficient Procurement of Bridge Infrastructures by Incorporating Life-Cycle Cost Analysis with Bridge Management Systems». *Journal of Bridge Engineering* 20 (6): 4014083. doi:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000673.
- Santos, João, e Adelino Ferreira. 2013. «Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level». *International Journal of Pavement Engineering* 14 (1): 71–84. doi:10.1080/10298436.2011.618535.
- Senft, John. 2002. «Wood as a Construction Material». Em , Second Edi. doi:10.1201/9781420041217.ch43.
- Shiple, Robert, Steve Utz, e Michael Parsons. 2006. «Does Adaptive Reuse Pay? A Study of the Business of Building Renovation in Ontario, Canada». *International Journal of Heritage Studies* 12 (6): 505–20. doi:10.1080/13527250600940181.
- Sianipar, Purba R. M., e Teresa M. Adams. 1997. «Fault-Tree Model of Bridge Element Deterioration Due to Interaction». *Journal of Infrastructure Systems* 3 (3): 103–10. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(1997)3:3(103).
- Siemes, T. 2002. «Overview Of The Service Life And Maintenance Problem Probabilistic Design». *9th International conference on durability of building materials and components, DBMC, Brisbane, Australia*, 1–10.
- Simonoff, Jeffrey S., Carlos E. Restrepo, e Rae Zimmerman. 2010. «Risk management of cost consequences in natural gas transmission and distribution infrastructures». *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 23 (2). Elsevier Ltd: 269–79. doi:10.1016/j.jlp.2009.10.005.
- SIPA, Sistema de Informação para o Património Arquitectónico. 2016. «Palácio Nacional de Sintra / Palácio da Vila». Acedido Abril 14. [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=6135](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=6135).
- Sousa, Vitor. 2003. «O Palácio Nacional de Sintra- Anomalias Não Estruturais». Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Sousa, Vitor. 2012. *Gestão Do Risco Na Construção Aplicação a Sistemas De Drenagem Urbana*. Tese de

- Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Sousa, Vitor, Telmo Pereira, e Jorge de Brito. 2003. «Patologias Não Estruturais do Palácio Nacional de Sintra - Anomalias em Caixilharias de Madeira». *Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. LNEC - Lisboa.
- Sousa, Vitor, Telmo Dias Pereira, e Inês Meireles. 2015. «Modeling the Degradation Rate of the Wood Frame Doors and Windows of the National Palace of Sintra, Portugal». *Journal of Performance of Constructed Facilities* 30 (2): 4015010. doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000747.
- Suttie, Ed., e Wendy. Thorpe. 2004. «Value for Money in Planned Maintenance Painting». *Final Workshop COST Action E18 'High performance wood coatings', Paris, France*, 1–9.
- Switala-Elmhurst, Katherine M, e Philip D. Udo-Inyang. 2014. «Life Cycle Assessment of Residential Windows : Saving Energy with Window Restoration». *50th ASC Annual International Conference Proceedings*.
- Takata, S, F Kirnura, F J a M van Houten, E Westkamper, M Shpitalni, D Ceglarek, e J Lee. 2004. «Maintenance: Changing Role in Life Cycle Management». *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 53 (1): 643–55. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60033-X.
- Tavares, Alice, Aníbal Costa, e Humberto Varum. 2011. *Manual de Reabilitação e Manutenção de Edifícios-Guia de intervenção*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal: INOVADOMUS.
- Thomas, Omar, e John Sobanjo. 2013. «Comparison of Markov Chain and Semi-Markov Models for Crack Deterioration on Flexible Pavements». *Journal of Infrastructure Systems* 19 (2): 186–95. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000112.
- Tran, Huu Dung. 2007. «Investigation of deterioration models for stormwater pipe systems». *PhD Thesis*. Victoria University.
- Turner, J. Rodney. 2008. *Handbook of Project-Based Management*. Third Edit. McGraw-Hill.
- Ugarelli, Rita, G Venkatesh, Helge Brattebø, Vittorio Di Federico, A M Asce, e Sveinung Sægrov. 2010. «Asset Management for Urban Wastewater Pipeline Networks». *Journal of Infrastructure Systems* 16 (2): 112–21.
- Uzarski, Donald R, e Michael N Grussing. 2008. «Building Condition Assessment Metrics : Best Practices». *Infrastructure Reporting and Asset Management*.
- van den Berg, Jorrit Dirk Jan. 2002. «Analytical chemical studies on traditional linseed oil paints». Ph.D. thesis, Univ. of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands.
- van Noortwijk, Jan M., e Dan M. Frangopol. 2003. «Deterioration and Maintenance Models for Insuring Safety of Civil Infrastructures at Lowest Life-Cycle Cost». Em *Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures*, 384–91. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40707(240)39.
- van Noortwijk, Jan M., e Dan M. Frangopol.. 2004. «Two probabilistic life-cycle maintenance models for deteriorating civil infrastructures». *Probabilistic Engineering Mechanics* 19 (4): 345–59. doi:10.1016/j.probengmech.2004.03.002.
- Vieira da Silva, José Custódio. 2002a. *O Palácio Nacional de Sintra*. Scala.
- Vieira da Silva, José Custódio. 2002b. *Paços Medievais Portugueses*. 2<sup>o</sup> Edição. Lisboa: IPPAR.



- Wiemann, Michael C. 2010. «Characteristics and Availability of Commercially Important Woods». Em *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*, 508. Forest Products Laboratory - USDA. doi:General Technical Report FPL-GTR-190.
- Woodward, David G. 1997. «Life cycle costing—Theory, information acquisition and application». *International Journal of Project Management* 15 (6): 335–44. doi:10.1016/S0263-7863(96)00089-0.
- Yi, Sung-Chil, Hyo-Nam Cho, Yoon-Koog Hwang, e Kwang-Min Lee. 2003. «Practical Life-Cycle-Cost Effective Optimum Design of Steel Bridges». Em *Life-Cycle Performance of Deteriorating Structures*, 328–43. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40707(240)34.
- Zayed, Tarek M, Luh-Maan Chang, e Jon D Fricker. 2002. «Life-Cycle Cost Based Maintenance Plan for Steel Bridge Protection Systems». *Journal of Performance of Constructed Facilities* 16 (2): 55–62. doi:10.1061/(ASCE)0887-3828(2002)16:2(55).



## **Anexos**



A. ANEXO: COMPARAÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS ENTRE SINTRA E LISBOA

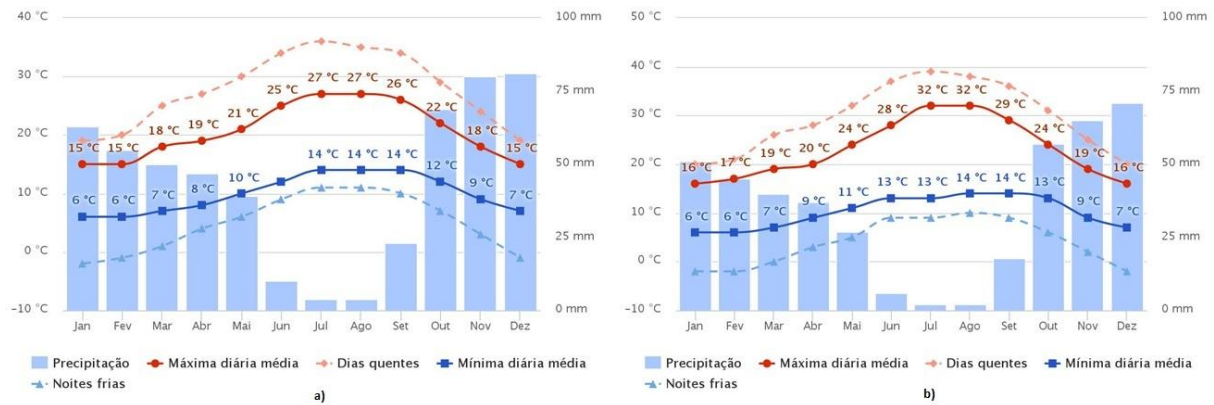


Figura A-1 – Caracterização do clima da região: a) Sintra; b) Lisboa

Na Figura A-1, a linha vermelha contínua mostra a média da temperatura máxima de um dia para cada mês de cada zona. Da mesma forma, a linha azul contínua mostra a média da temperatura mínima. Os dias quentes e noites frias (linhas vermelhas e azuis tracejadas) representam a média do dia mais quente e da noite mais fria de cada mês nos últimos 30 anos.

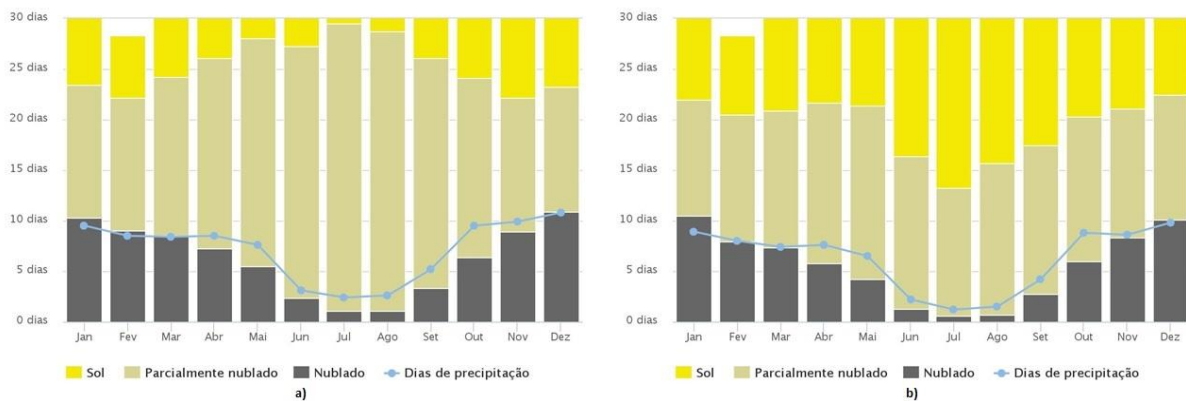


Figura A-2 – Dias de exposição solar e de precipitação na região: a) Sintra; b) Lisboa

Na Figura A-2, apresenta-se o número mensal de dias de sol, parcialmente nublados, nublados e de precipitação. Os dias com menos de 20% de cobertura de nuvens são considerados como dias de sol, com 20-80% de cobertura de nuvens como parcialmente nublados e com mais de 80% como nublados.



B. ANEXO: EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÕES DAS CAIXILHARIAS DO PALÁCIO NACIONAL DE SINTRA



Figura B-1 – Exemplos de caixilharias do Palácio





C. ANEXO: EXEMPLO DE ALTERNATIVA DE TRAJETO DO CIRCUITO TURÍSTICO DURANTE UMA INTERVENÇÃO



Figura C-1 – Reabilitação dos revestimentos interiores da cozinha do Palácio Nacional de Sintra