

DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE MADEIRA DE EDIFÍCIO EXISTENTE. ESTUDO DE CASO

MARIA ANA CARVALHO PEREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES EM EDIFÍCIOS

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de
Araújo Faria

JUNHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2023/2024 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

*Recomeça...
Se puderes
Sem angústia
E sem pressa.
E os passos que deres,
Nesse caminho duro
Do futuro
Dá-os em liberdade.
Enquanto não alcances
Não descanses.
De nenhum fruto queiras só metade.*

*E, nunca saciado,
Vai colhendo ilusões sucessivas no pomar.
Sempre a sonhar e vendo
O logro da aventura.
És homem, não te esqueças!
Só é tua a loucura
Onde, com lucidez, te reconheças...
Miguel Torga*

AGRADECIMENTOS

Antes de mais, gostaria de deixar umas palavras de gratidão ao Eng.º Jerónimo Botelho, por me ter dado a oportunidade de realizar esta dissertação num tema que, ao longo do meu percurso académico, foi suscitando o meu particular interesse. Por me ter disponibilizado todas as condições para que o meu trabalho se desenvolvesse da melhor forma possível e, acima de tudo, pela constante preocupação e prontidão a ajudar ao longo de todo processo. Deixo, também, um especial agradecimento á Eng.ª Cristina Noriega, pela disponibilidade em me ajudar face a todos os desafios que enfrentei com o uso do software Robot. Aprendi muito com vocês, com a vossa energia positiva e, sem dúvida, que foi uma experiência bastante enriquecedora.

Ao Prof. José Amorim Faria, orientador desta dissertação, gostaria de prestar o meu sincero agradecimento por todo o conhecimento, experiência e conselhos partilhados, ao longo dos últimos anos. Desde o início do meu percurso académico se destacou um grande profissional, sempre preocupado e com uma palavra amiga a oferecer.

Ao Prof. Rui Calejo, cujo gosto pela manutenção e reabilitação de edifícios despertou em mim um grande interesse por esta área.

Aos meus pais, Adélia e Carlos, pelo esforço e apoio incondicional. Cada conquista alcançada é reflexo do amor e dos valores que me ensinaram. Nunca conseguirei encontrar palavras para expressar a minha gratidão. Sei pai, que o teu sonho sempre foi ser engenheiro e, embora as circunstâncias da vida não o tenham permitido, contribuíste para a formação de dois engenheiros civis.

Agradeço ao meu irmão, Samuel, por me ter incentivado a envergar por esta área e ser um exemplo de irmão e engenheiro para mim.

Agradeço à minha avó, Rosa, por esperar sempre tão ansiosamente por mim ao fim de semana. Representa para mim o verdadeiro significado de família.

Agradeço ao meu padrinho, por me ter ensinado tudo o que sei de Autocad, com muita paciência e por todos os “cafézinhos” clássicos de sábado.

Foram cinco anos intensos, cheios de pessoas e aprendizagens que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

E por isso, agradeço de coração aos meus amigos, que me acompanharam durante esta caminhada, agradeço por todo o companheirismo, entre ajuda, amizade e momentos vividos, foram vocês que tornaram FEUP casa.

RESUMO

Esta dissertação, descreve detalhadamente os aspetos de carácter metodológico no âmbito da reabilitação de estruturas de madeira antigas, relativas ao levantamento, inspeção e diagnóstico destas estruturas. Cada uma das fases é fundamentada por pesquisas apropriadas, com o objetivo de recolha de dados e informações essenciais, para determinar as ações de intervenção a executar.

Na fase de inspeção, teve-se como principal objetivo o levantamento geométrico, patologias existentes, e avaliar as potencialidades dos métodos modernos de avaliação não destrutiva da capacidade resistente de peças estruturais de madeira, especificamente o uso do *Resistograph* aplicado diretamente nas estruturas.

Foram realizados ensaios não destrutivos a vigas *Castanea Sativa Mill* nos pavimentos de um caso real de estudo: um edifício patrimonial do séc.XIX, e aplicaram-se correlações obtidas através da bibliografia de vários autores, para estimar as propriedades mecânicas da madeira, nomeadamente, a densidade. A inspeção visual revelou-se essencial no processo de diagnóstico, auxiliando os resultados obtidos.

Procedeu-se à avaliação do nível de segurança da estrutura de pavimentos existentes, respeitando as bases de dimensionamento previsto no Eurocódigo 5, servindo de suporte à decisão de intervenção.

Em relação aos conteúdos inovadores, este estudo inclui a tipificação das principais patologias e anomalias estruturais e uma síntese das principais soluções para esses problemas (materiais e técnicas), preservando a integridade estrutural da edificação, mantendo o seu aspeto mais próximo do original possível.

Posteriormente, o estudo propõe um plano de reabilitação para os pavimentos existentes, incluindo a verificação estrutural necessária para assegurar a estabilidade e segurança. Adicionalmente, a proposta de adição de um novo piso em altura, que implica o dimensionamento de um novo pavimento e cobertura. Este aumento de piso, é cuidadosamente projetado para integrar-se com a estrutura existente, respeitando a estética e funcionalidade da construção original.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios não destrutivos; Inspeção e diagnóstico; Análise estrutural; Reabilitação de estruturas de madeira; Estudo de caso.

ABSTRACT

This dissertation provides a detailed description of the methodological aspects involved in the rehabilitation of old wooden structures, focusing on the survey, inspection, and diagnosis of these structures. Each phase is supported by appropriate research, aimed at collecting essential data and information to determine the necessary intervention actions.

During the inspection phase, the primary objectives were the geometric survey, identification of existing pathologies, and evaluation of the potential of modern non-destructive methods for assessing the load-bearing capacity of wooden structural elements, specifically the use of the *Resistograph* directly on the structures.

Non-destructive tests were conducted on *Castanea Sativa* Mill beams in the floors of a real case study: a 19th-century heritage building. Correlations obtained from the literature by various authors were applied to estimate the mechanical properties of the wood, particularly its density. Visual inspection proved essential in the diagnostic process, aiding in the interpretation of the results obtained.

The safety level of the existing floor structures was assessed, adhering to the design principles outlined in Eurocode 5, providing support for the intervention decision.

Regarding innovative content, this study includes the classification of the main pathologies and structural anomalies and a synthesis of the primary solutions for these problems (materials and techniques), preserving the structural integrity of the building and maintaining its appearance as close to the original as possible.

Subsequently, the study proposes a rehabilitation plan for the existing floors, including the necessary structural verification to ensure stability and safety. Additionally, it suggests the addition of a new upper floor, which involves designing a new floor and roof. This new addition is carefully designed to integrate with the existing structure, respecting the aesthetics and functionality of the original construction.

KEYWORDS: Non-destructive testing; Inspection and diagnosis; Structural analysis; Wooden structure rehabilitation; Case study.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE LEGENDAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS.....	XVI
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS.....	XVIII

1 INTRODUÇÃO..... 1

1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
-------------------------	---

1.2. OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	1
--	---

2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EXISTENTES EM EDÍFÍCIOS 3

2.1. OBJETO	3
-------------------	---

2.2. INSPEÇÃO VISUAL	4
----------------------------	---

2.3. TIPOS DE DEGRADAÇÃO EM ELEMENTOS DE MADEIRA.....	5
---	---

2.3.1. DEFEITOS DAS PEÇAS ESTRUTURAIS ORIGINAIS	5
---	---

2.3.2. DANOS RELACIONADOS COM ATAQUES POR AGENTES BIÓTICOS	8
--	---

INSETOS DE CICLO LARVAL.....	15
------------------------------	----

INSETOS SOCIAIS.....	17
----------------------	----

2.3.3. DANOS RELACIONADOS COM AGENTES FÍSICOS E QUÍMICOS.....	21
---	----

2.3.4. DANOS RELACIONADOS COM MÁ CONCEÇÃO OU USO ESTRUTURAL.....	22
--	----

2.4. VALORES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MADEIRA	23
--	----

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRA EM CLASSES DE QUALIDADE	23
---	----

2.4.2. ATRIBUIÇÃO DE CLASSES DE RESISTÊNCIA.....	24
--	----

2.4.3. RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE QUALIDADE E CLASSES DE RESISTÊNCIA	26
--	----

2.5. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA	26
---	----

2.5.1. INTRODUÇÃO.....	26
------------------------	----

2.5.2. CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE	26
--	----

2.5.3. MÉTODOS GLOBAIS DE ENSAIO	27
--	----

2.5.4. MÉTODOS LOCAIS DE ENSAIO	38
---------------------------------------	----

RESULTADOS DO RESISTOGRAPH – VALOR DE RESISTOGRAPH	40
--	----

2.5.5. EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE DOS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS	42
--	----

3 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO 49

3.1. OBJETO.....	49
3.2. CASA BURGUESA DO PORTO	49
3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS	50
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITETÓNICA	51
3.2.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E ESTRUTURAL	51
3.3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	58
3.3.1. LOCALIZAÇÃO	59
3.3.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DO EDIFÍCIO	61
3.3.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO EDIFÍCIO	63

4 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO 67

4.1. OBJETO.....	67
4.2. PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA INSPEÇÃO	68
4.3. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTUDO DE CASO	69
4.3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE DE MADEIRA	69
4.3.2. LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO/ESTRUTURAL	70
4.3.3. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS.....	71
4.3.4. ENSAIOS EXPERIMENTAIS – RESISTOGRAPH.....	77
4.4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	82

5 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DA ESTRUTURA EXISTENTE 85

5.1. OBJETO.....	85
5.2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – FLEXÃO E CORTE.....	86
5.2.1. CARGAS PERMANENTES, G.....	87
5.2.2. CARGA VARIÁVEL, Q.....	87
5.2.3. COMBINAÇÃO DE AÇÕES, P	88
5.2.4. TENSÕES.....	88
5.3. ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO	91
5.3.1. DEFORMAÇÃO INSTANTÂNEA.....	91
5.3.2. DEFORMAÇÃO A LONGO PRAZO	91
5.3.3. VIBRAÇÕES.....	92

5.4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	93
--	-----------

6 PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ESTRUTURAL..... 95

6.1. OBJETO	95
6.2. METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO.....	96
6.2.1. LEVANTAMENTO PRELIMINAR	97
6.2.2. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO.....	97
6.2.3. PROPOSTA DE MEDIDAS INTERVENTIVAS	97
6.3. TÉCNICAS DE REFORÇO LOCAL DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	98
6.3.1. INTRODUÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS DE MADEIRA	98
6.3.2. INTRODUÇÃO DE UM NOVO ELEMENTO NA PAREDE PARA APOIO DAS VIGAS	102
6.3.3. INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS NOS APOIOS DAS VIGAS.....	104
6.3.4. FIXAÇÃO DE CHAPAS OU PERFIS METÁLICOS À PARTE Sã DA MADEIRA	104
6.3.5. COLOCAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS SOB AS VIGAS DE MADEIRA	105
6.3.6. SOLUÇÕES COM FORMULAÇÕES EPOXI	105
6.4. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO DOS PAVIMENTOS	107
6.4.1. FICHAS RESUMO REPRESENTATIVAS DO PROPOSTO	107
6.4.2. PAVIMENTOS INTERIORES	107
6.4.3. PAVIMENTOS EXTERIORES	109
6.4.4. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS PROPOSTOS	109
6.5. DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA.....	112
6.5.1. METODOLOGIA APLICADA.....	113
6.5.2. DIMENSIONAMENTO DAS MADRES	114
6.5.3. DIMENSIONAMENTO DA ASNA.....	119
ESTADO LIMITE ÚLTIMO	120
ESTADO LIMITE DE SERVIÇO	120
6.5.4. MODELO DE CÁLCULO, ESFORÇOS E TENSÕES	121
6.5.5. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DA ASNA	122
LINHA.....	123
PENDURAL	124
PERNAS	125
ESCORAS	126
LINHA.....	127
PENDURAL	127
PERNAS	128
ESCORAS	128

7 CONCLUSÕES	131
7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
7.2. PERSPETIVA FUTURAS	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

ÍNDICE DE LEGENDAS

Legenda 2. 1 - Presença de nós em elementos de madeira.....	6
Legenda 2. 2 - Tipos de fendas na madeira.	8
Legenda 2. 3 - Ciclo biológico dos fungos.	10
Legenda 2. 4 - Fungos cromogéneos.	11
Legenda 2. 5 - Podridão branca.	12
Legenda 2. 6 - Podridão cúbica.	12
Legenda 2. 7 - Podridão mole.....	13
Legenda 2. 8 - Ciclo de vida do <i>Anobium punctatum</i>	16
Legenda 2. 9 - Presença de Caruncho nos elementos de madeira.	16
Legenda 2. 10 - Morfologia das térmitas.	18
Legenda 2. 11 - Ataque de térmitas nos elementos de madeira, secção longitudinal.	19
Legenda 2. 12 - Sonda emissora – Sylvatest.	30
Legenda 2. 13 - Medição direta (esquerda); Medição indireta (direita).	30
Legenda 2. 14 - Resultados obtidos pelo ensaio com o Sylvatest.	30
Legenda 2. 15 - Á esquerda Sylvatest Duo; ao centro Sylvatest Trio.	31
Legenda 2. 16 - Modelo PUNDIT 200 e respetiva saída de dados.	31
Legenda 2. 17 - Viga de madeira com poucas reflexões internas – bom estado.	33
Legenda 2. 18 - Viga de madeira com um defeito interno localizado.	33
Legenda 2. 19 - Degradação completa da viga de madeira.....	33
Legenda 2. 20 - Á esquerda, representação de resultados por curvas; á direita, representação por cores.	34
Legenda 2. 21 - Modelo georradar – GP 8000.	35
Legenda 2. 22 - Componentes do aparelho METRIGUARD.....	35
Legenda 2. 23 - Gerações de tecnologia scanner: a) 1ª geração; b) 2ª geração; c) 3ª geração; d) 4ª geração.	36
Legenda 2. 24 - Sistema de triangulação a laser: a) conjunto dos três objetos constituintes: fonte de luz; sensor fotossensível; objeto alvo; b) representação da geometria triangular do sistema.	37
Legenda 2. 25 - Aparelho para deteção acústica de insetos xilófagos – FAKOPP TreeSonic Timer. .	38
Legenda 2. 26 - Pilodyn 6J – equipamento de medição de densidade superficial.	38
Legenda 2. 27 - Esquema representativo da agulha de perfuração do resistograph (L. Acuña, 2011).	39
Legenda 2. 28 - Resistograph 4450.....	39

Legenda 2. 29 - Gráfico do perfil de resistência à perfuração. À direita, saída numérica de dados do software Resistograph.	40
Legenda 2. 30 - Valores iniciais (A) e finais (B) do intervalo em que se admite um funcionamento estável do Resistograph.	41
Legenda 3. 1 - Pormenor de pavimento térreo.	52
Legenda 3. 2 - Corte transversal de uma fachada, abrangendo piso com janela de peito e piso com janela de sacada.	53
Legenda 3. 3 - Pormenor parede de compartimentação.	54
Legenda 3. 4 - Pormenor de escadas interiores.	55
Legenda 3. 5 - Pormenor ligação de pavimento com fachada.	55
Legenda 3. 6 - Pormenor da estrutura da cobertura.	56
Legenda 3. 7 - Ligação da cobertura com a empena.	57
Legenda 3. 8 - Alçado, planta e corte tipo de janela de batente de sacada.	58
Legenda 3. 9 - Alçado e pormenor da bandeira de uma porta interior.	58
Legenda 3. 10 - Fachada principal do edifício e logradouro do edifício.	59
Legenda 3. 11 - Carta da câmara municipal do Porto.	60
Legenda 3. 12 - Planta topográfica da cidade do porto, à escala 1:500, levantada sob a direção de Augusto Gerardo Teles Ferreira (1892).	61
Legenda 3. 13 - Plantas arquitetónicas de piso. À esquerda, piso 1; ao centro, piso 2; à direita, piso 3.	62
Legenda 3. 14 - Alçado frontal e posterior do edifício.	62
Legenda 3. 15 - Atual planta topográfica.	63
Legenda 3. 16 - Parede de compartimentação em tabique.	64
Legenda 3. 17 - Parede exterior em alvenaria de pedra de granito.	64
Legenda 3. 18 - Vigas de madeira.	65
Legenda 3. 19 - Composição da estrutura da cobertura.	65
Legenda 3. 20 - Estrutura da caixa de escadas interiores.	66
Legenda 4. 1 - Identificação das zonas 1 e 2, correspondentes ao pavimento do piso 2 (planta em baixo) e piso 3 (planta em cima).	71
Legenda 4. 2 - Viga 3, piso 3, zona 1 (lado direito), verifica-se infiltração de água.	72
Legenda 4. 3 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), verifica-se infiltração de água.	72
Legenda 4. 4 - Viga 1, piso 3, zona 1 (lado esquerdo), verifica-se infiltração de água.	72

Legenda 4. 5 - Viga 1 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de fungos de podridão cúbica e perda de secção.	73
Legenda 4. 6 - Viga 5 e 6 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de fungos de podridão cúbica e perda de secção no apoio.	73
Legenda 4. 7 - Viga 3, piso 2, zona 2, com presença de fungos de podridão e perda de secção no apoio.	74
Legenda 4. 8 - Viga 1, piso 2, zona 2, com presença de fungos de podridão e perda de secção no apoio.	74
Legenda 4. 9 - Viga 1, piso 3, zona 1 (lado esquerdo), com presença de fungos de podridão e completa degradação do elemento de madeira.	75
Legenda 4. 10 - Viga 4 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de bolores.	75
Legenda 4. 11 - Viga 6, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.	76
Legenda 4. 12 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.	76
Legenda 4. 13 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado direito), com ataque de insetos de ciclo larvar.	76
Legenda 4. 14 - Viga 4, piso 2, zona 2 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.	76
Legenda 4. 15 - Viga 2, piso 2, zona 2 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.	76
Legenda 4. 16 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 1 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água, caruncho superficial e perda de secção.	78
Legenda 4. 17 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 5 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água, caruncho superficial e perda de secção.	78
Legenda 4. 18 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 3 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de caruncho.	78
Legenda 4. 19 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 1 (piso 3, zona 1, lado direito), anteriormente sem nenhuma patologia observada.	79
Legenda 4. 20 - Ensaio lateral de Registograph realizado à viga 3 (piso 3, zona 1, lado direito), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água.	79
Legenda 4. 21 - Ensaio de Registograph realizado à viga 2 (piso 3, zona 1, lado esquerdo), anteriormente sem nenhuma patologia observada.	80
Legenda 5. 1 - Propriedades físicas e mecânicas - Classe de resistência D30.	85
Legenda 5. 2 - Esquema de carregamento das vigas.	86
Legenda 5. 3 - Valores limites para deformações de vigas.	91
Legenda 5. 4 - Fig. 7.2. do Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).	92

Legenda 6. 1 - - Ligação por entalhes: a) dente simples; b) dente simples posterior; c) dente duplo; d) ligação com respiga e mecha; e) dente simples com respiga e mecha (Sara Barbosa, 2017).	100
Legenda 6. 2 - - Cruzamentos: a) cruz a meio fio; b) meio fio de encontro; c) meio fio de ponta; d) cauda de andorinha (Sara Barbosa, 2017).	100
Legenda 6. 3 - Empalmes: a) união a meio fio; b) entalhe com ângulo; c) união a meio fio com ângulo; d) entalhe a meia madeira com entalhe; e) entalhe com ângulo e batente a meia esquadra (Sara Barbosa, 2017).	101
Legenda 6. 4 - Acoplamentos (Sara Barbosa, 2017).	101
Legenda 6. 5 - Reforço do apoio da viga de madeira através da incorporação de peças de madeira novas (F. Arriaga, 2002).	102
Legenda 6. 6 - Instalação de um frechal de madeira sobre cachorro de pedra embutido na parede (F. Arriaga, 2002).	103
Legenda 6. 7 - Fixação de cantoneiras metálicas á parede (F. Arriaga, 2002).	103
Legenda 6. 8 - Aumento do comprimento da viga por meio de perfis metálicos introduzidos no seu interior (F. Arriaga, 2002).	105
Legenda 6. 9 - Níveis de perfis metálicos a suportar os elementos degradados (F. Arriaga, 2002). .	105
Legenda 6. 10 - Fases de consolidação de uma viga na secção de apoio através de formulações epoxídicas (F. Arriaga, 2002).	106
Legenda 6. 11 - Reforço com chapas metálicas e cola epoxídica (F. Arriaga, 2002).	107
Legenda 6. 12 - Planta estrutural da proposta de cobertura.	113
Legenda 6. 13 - Combinação de ações para o estado limite último.	117
Legenda 6. 14 - Esforços atuantes nas madres.	117
Legenda 6. 15 - Tensões atuantes nas madres.	118
Legenda 6. 16 - Tensões resistentes nas madres.	118
Legenda 6. 17 - Verificação da capacidade resistente das madres para o estado limite último.	118
Legenda 6. 18 - Verificação da capacidade resistente das madres para o estado limite de serviço. .	119
Legenda 6. 19 - Dimensionamento da asna - Robot Structural Analysis.	119
Legenda 6. 20 - Momentos fletores para o estado limite último.	121
Legenda 6. 21 - Esforços transversos para o estado limite último.	121
Legenda 6. 22 - Esforços axiais para o estado limite último.	122
Legenda 6. 23 - Deformações para o estado limite de serviço.	122
Legenda 6. 24 - Momentos fletores da asna apenas submetida ao peso próprio da estrutura.	129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Limites máximos para a dimensão dos nós num elemento de madeira.	6
Tabela 2. 2 - Limites para a dimensão das fendas num elemento de madeira.....	8
Tabela 2. 3 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (adaptado de (Helena Cruz, 2002); (NP335-2, 2011)).	9
Tabela 2. 4 - Principais tipo de fungos xilófagos - adaptado de (Botelho, 2006).	14
Tabela 2. 5 - Principais classes e famílias de insetos xilófagos – adaptado de (Palmeira, 2010).	15
Tabela 2. 6 - Quadro resumo de insetos xilófagos de degradação da madeira - adaptado de (Botelho, 2006).....	20
Tabela 2. 7 - Classes de resistência – valores característicos (EN338, 2009).	25
Tabela 2. 8 - Expressões de correlação entre o VR _{médio} e algumas das principais propriedades mecânicas de elementos de madeira (adaptado de (Botelho, 2006)).	41
Tabela 2. 9 - Aplicabilidade dos métodos não destrutivos.....	42
Tabela 2. 10 - Síntese das técnicas não destrutivas de ensaio.	43
 Tabela 4. 1 - Levantamento geométrico do vigamento de pavimentos.	 70
Tabela 4. 2 - Resultados obtidos do valor de Resistograph para cada viga inspecionada.	81
Tabela 4. 3 - Cálculo da densidade através da correlação com os valores de Resistograph.	82
 Tabela 5. 1 - Eurocódigo 1 (NP EM 1991:2009), Sobrecargas.	 88
Tabela 5. 2 - Valores de K _{mod} , Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).	90
Tabela 5. 3 - Valores para o coeficiente parcial γ_M , segundo o Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).	90
Tabela 5. 4 - Verificação da capacidade resistente dos pavimentos para o estado limite último.	94
Tabela 5. 5 - Verificação da capacidade resistente dos pavimentos para o estado limite de serviço. .	94
 Tabela 6. 2 - Verificação da capacidade resistente do piso 2 proposto, para o estado limite último. .	 110
Tabela 6. 3 - Verificação da capacidade resistente do piso 2 proposto, para o estado limite de serviço.	110
Tabela 6. 4 - Verificação da capacidade resistente do piso 3 proposto, para o estado limite último. .	111
Tabela 6. 5 - Verificação da capacidade resistente para o piso 3 proposto, para o estado limite de serviço.	111
Tabela 6. 6 - Dimensionamento do novo piso 4, para o estado limite último.	111
Tabela 6. 7 - Dimensionamento do novo piso 4, para o estado limite de serviço.	112
Tabela 6. 8 - Pré-dimensionamento das asnas da cobertura de madeira.	113

Tabela 6. 9 - Coeficientes de pressão exterior e interior, respetivamente.	116
---	-----

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

E_{mean} – valor médio do módulo de elasticidade

$E_{0,05}$ – valor do quinto percentil do módulo de elasticidade

G_{mean} – valor médio do módulo de elasticidade transversal

I_z – segundo momento de área

b – largura

h – altura

f_{mk} – resistência à flexão característica

$f_{t,0,k}$ – resistência à tração característica paralela ao fio

$f_{t,90,d}$ – resistência à tração característica perpendicular ao fio

$f_{c,0,k}$ – resistência à compressão característica paralela ao fio

$f_{c,90,d}$ – resistência à tração característica perpendicular ao fio

f_{vk} – resistência ao corte característica

$f_{m,y,d}$ – resistência à flexão projetada em torno do eixo y

$f_{m,z,d}$ – resistência à flexão projetada em torno do eixo z

k_{crit} – fator de bambeamento

k_{def} – fator de deformação

k_{mod} – fator de modificação

k_h – fator de tamanho

k_m – fator que tem em conta a redistribuição dos esforços de flexão na secção transversal

k_{sys} – fator de força

n_{40} – número de frequências abaixo de 40 Hz

u_{fin} – deformação final

$u_{\text{inst},G}$ – deformação instantânea para a ação permanente G

$u_{inst,Q}$ – deformação instantânea para a ação permanente Q

γ_M – fator parcial para as propriedades do material

ρ_k – densidade característica

ρ_{mean} – densidade média

τ_{md} – tensão de flexão

τ_{vd} – tensão de corte

τ_{myd} – tensão de flexão em torno do eixo y

τ_{mzd} – tensão de flexão em torno do eixo z

ψ_0 – fator para a combinação característica de ações

ψ_1 – fator para a combinação frequente de ações

ψ_2 – fator para a combinação quase permanente de ações

ξ – taxa de amortecimento modal

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O património arquitetónico representa um bem valioso em termos culturais e económicos, pelo que, diversas construções antigas têm sofridos danos que representam perdas irreparáveis. Assim, surge a importância da análise, conservação e restauro da madeira existente em edifícios, para a manutenção da autenticidade e integridade do património cultural.

Sendo a madeira um material natural, é um material estrutura altamente eficiente, não apenas pelas suas propriedades mecânicas, mas também por ser um material altamente sustentável em todas as fases do ciclo de vida de uma estrutura: produção, uso e degradação.

As ações de reabilitação de estruturas de madeira em edifícios antigos, introduzindo elementos contemporâneos é uma tarefa complexa e, por isso, devem considerar algumas especificidades, por se tratar de um material de origem biótica, que devido às suas propriedades físicas e mecânicas apresenta uma elevada variabilidade.

Este trabalho, tem como principal foco os essenciais aspetos de reabilitação, nomeadamente, a diversidade de espécies de madeira, a sua suscetibilidade à humidade e degradação biológica, as técnicas e procedimentos disponíveis de avaliação da capacidade resistente da madeira. Adicionalmente, os aspetos relacionados com a avaliação comportamental de estruturas de madeira e eventuais ações de reforço ou substituição dos seus elementos.

Esta é uma abordagem que inclui várias etapas, nomeadamente, o levantamento estrutural para a fase de inspeção e diagnóstico com o objetivo de identificação e quantificação dos danos mecânicos, da degradação biológica dos elementos de madeira e a sua classificação para posterior verificação de capacidade de carga e estabilidade da estrutura.

Por fim, a definição de uma metodologia de restauro ou reabilitação, mais ou menos intrusiva e adequada à utilização futura, que permita encontrar uma boa relação custo-benefício para a intervenção.

O International Wood Committee do ICOMOS, estabelece como princípios básicos de intervenção em estruturas de madeira, manter-se os elementos construtivos originais e a sua função estrutural. Cada intervenção deve ser baseada em estudos e avaliações adequados e que, os problemas devem ser resolvidos de acordo com as condições e necessidades relevantes, com o devido respeito pelos valores estéticos e históricos, e pela integridade física da estrutura (ICOMOS, 1999).

1.2. OBJETIVOS E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Como já foi anteriormente referido, o presente estudo pretende sintetizar, no essencial, uma metodologia abrangente para a reabilitação de estruturas de madeira de um estudo de caso real, detalhando as fases

de inspeção e diagnóstico dessas estruturas, incidente sobre os pavimentos e cobertura do edifício. Esta abordagem é crucial para determinar as ações de intervenção necessárias, garantindo que sejam respeitados os princípios bases de intervenção em estruturas de madeira antigas, bem como os requisitos normativos atuais, em particular os estabelecidos pelo Eurocódigo 5.

Este estudo desenvolve-se em 7 capítulos, organizados da seguinte forma:

- Capítulo 1, é feito um breve enquadramento do estudo realizado, como uma descrição sumária da organização e conteúdos dos capítulos;
- Capítulo 2, são descritos os principais tipos de degradação em elementos de madeira, bem como, métodos e equipamentos de avaliação não destrutivos;
- Capítulo 3, é descrita a caracterização construtiva e funcional do estudo real de caso;
- Capítulo 4, aborda a fase de inspeção e diagnóstico através do levantamento geométrico e de patologias, bem como, através de ensaios não destrutivos experimentais como recurso ao *Resistograph*;
- Capítulo 5, avalia o nível de segurança da estrutura inspecionada, nomeadamente dos pavimentos de madeira;
- Capítulo 6, é feita uma síntese de técnicas de reforço local dos elementos estruturais e apresentada uma proposta de reabilitação para a estrutura existente de madeira, bem como a verificação da capacidade resistente da mesma. Em adição, o dimensionamento do novo piso em altura proposto, nomeadamente, do pavimento e cobertura.
- Capítulo 7, são expostas as considerações finais, fruto das conclusões obtidas através deste estudo.

.

2

ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EXISTENTES EM EDÍFÍCIOS

2.1. OBJETO

Desafios associados à preservação da madeira surgem, frequentemente, em estruturas de edifícios históricos. É imperativo adotar medidas de conservação e preservação para evitar perdas e degradações que possam comprometer a autenticidade das construções. A aplicação de métodos não destrutivos para avaliar o comportamento estrutural desses mesmos edifícios é essencial, proporcionando uma base sólida para decisões que visam prolongar a durabilidade do património edificado.

Neste contexto, como parte integrante deste estudo, o presente capítulo é referente a métodos de inspeção não destrutivos de elementos estruturais de madeira, que permitem a avaliação das suas características mecânicas, preservando e sem comprometer a integridade dos elementos do edifício, que não poderiam ser extraídos para ensaios experimentais destrutivos (Raposo, 2017).

Esta é uma abordagem que inclui várias etapas, nomeadamente, o levantamento estrutural para a fase de inspeção e diagnóstico com o objetivo de identificação e quantificação dos danos mecânicos, da degradação biológica dos elementos de madeira e a sua classificação para posterior verificação de capacidade de carga e estabilidade da estrutura.

De notar que, para a realização destas técnicas, devem ser atendidas condições de segurança da estrutura de madeira para que se possa caminhar por cima ou por baixo da mesma, garantindo as condições de iluminação permitindo uma boa observação visual, de limpeza excluindo a presença de poeiras ou detritos e de acessibilidade à estrutura refletindo uma grande influência na escolha da inspeção a realizar (F. Arriaga, 2002).

Em locais da estrutura onde a inspeção visual não pode ser facilmente realizada, como nas extremidades das vigas embutidas nas paredes de suporte, é necessário complementar a inspeção com o uso de métodos alternativos (Cruz, 2013), tal como, ensaios destrutivos que não serão alvo deste estudo, de forma a garantir uma verificação adequada da integridade estrutural.

Desta forma, divide-se os ensaios não destrutivos (NDT) em 2 grandes grupos: métodos globais de ensaio (GTM) e métodos locais de ensaio (LTM). Os GTMs abrangem técnicas como ultrassons e outros métodos de propagação de ondas, enquanto os LTMs oferecem um suporte mais direto à inspeção visual, como o Pilodyn (Görlacher, 1987) e o resistógrafo (Rinn, 1994).

2.2. INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual é o principal método de inspeção e diagnóstico para estruturas de madeira, através da análise direta por observação visual ou tátil, com auxílio de instrumentos de inspeção simples, entre eles:

- a) Caderno e lápis para tirar notas e auxiliar o desenho;
- b) Lanterna ou foco de luz;
- c) Medidor de humidade;
- d) Lupa e espelhos refletores;
- e) Martelo;
- f) Punção, chave de parafusos e formão;
- g) Berbequim elétrico;
- h) Pincéis e brochas para limpar a madeira;
- i) Câmara fotográfica;
- j) Andaimas e escadas de acesso seguros.

Com o objetivo de obter informação sobre o estado de conservação da madeira, é essencial realizar uma inspeção abrangente, procurando analisar toda a estrutura a nível global como de pormenores, fornecendo indicações sobre áreas críticas e elementos construtivos que exigem reparos prioritários. Esta informação é descrita nos relatórios de inspeção fornecendo insights valiosos para orientar e fundamentar o processo de intervenção, em caso de não conformidade, garantindo a qualidade e segurança das mesmas.

As características visualmente detetáveis úteis para a classificação da força visual podem ser divididas em três grupos (UNI11119, 2004):

- a) A geometria

A classificação visual da resistência avalia em particular, a espécie da madeira e os principais defeitos visíveis e mensuráveis que reduzem a resistência da madeira, para atribuir uma classe de resistência à qual corresponde um nível de desempenho (Nocetti, 2024). Pretende-se assim, o levantamento geométrico de forma a explicitar as dimensões e forma do elemento, os detalhes geométricos como chanfros e deformações, detalhes de crescimento como o tamanho do nó, inclinação da fibra e o tipo, posição e extensão dos principais defeitos observáveis.

- b) As características redutoras de resistência

É também possível, através da inspeção visual, analisar características redutoras de resistência, como a presença de humidade e ciclos de retrações e expansões resultando na abertura progressiva de fendas de secagem. Considera-se que, estas fendas de secagem reduzem principalmente a resistência ao corte dos elementos, podendo diminuir a capacidade resistente das ligações, que traduz no aumento de flexibilidade e de deformações de todo o conjunto estrutural (Artur Feio, 2005).

A existência de manchas de corrosão resultante da presença de ligadores metálicos, também é um bom indicador de teores de água elevados, tal como, o crescimento de plantas ou musgo em fendas, que cria condições propícias à diminuição de resistência.

c) Danos biológicos e mecânicos.

Segue-se a avaliação de sinais dos agentes biológicos e mecânicos presentes na superfície da madeira, caracterizados por protuberâncias, furos de saída e fissuras de acordo com o indicado na identificação do agente degradador, de forma a ser levada em consideração na solução de intervenção precavendo consequências dessa degradação. Como ferramenta de auxílio à medição da profundidade de degradação causada por fungos, pode ser utilizada uma chave de fendas e prestar atenção à mudança de resistência à penetração à medida que é martelada.

2.3. TIPOS DE DEGRADAÇÃO EM ELEMENTOS DE MADEIRA

A madeira (ou lenho), é constituída por pequenos elementos celulares com funções fisiologicamente diferentes, dando origem a dois grandes grupos botânicos: as Resinosas ou Coníferas e as Folhosas. Refira-se ao grupo das Resinosas como exemplos de espécies o pinheiro, abeto, cedro; e ao grupo das Folhosas o carvalho, castanheiro, faia, eucalipto, bem como a generalidade das espécies que estão na origem das madeiras tropicais (Helena Cruz, 2002). Dentro da mesma árvore, é possível verificar variabilidade do material ainda que, não seja possível a especificação da madeira com base nesses parâmetros pela dificuldade de comprovação à altura da receção do material.

Os danos que se podem encontrar nas estruturas de madeira podem ter, essencialmente, três origens: danos de origem biótica relacionados com organismos xilófagos; danos de origem abiótica relacionados com a exposição a ações climáticas e danos de origem estrutural (F. Arriaga, 2002).

Assim, os defeitos presentes na madeira constituem o fator determinante da sua qualidade. Deste modo, é importante compreender as causas que lhe dão origem, agrupando-as da seguinte forma:

- a) Danos inerentes à sua origem biológica – defeitos das peças originais;
- b) Danos relacionados com ataques por agentes bióticos;
- c) Danos relacionados com agentes físicos e químicos e, particularmente, ciclos de retração e expansão;
- d) Danos relacionados com a má conceção ou uso estrutural.

2.3.1. DEFEITOS DAS PEÇAS ESTRUTURAIS ORIGINAIS

Como já foi referido defeitos e anomalias presentes na madeira constituem parâmetros que influenciam a resistência mecânica dos elementos de madeira que seria esperada antes de serem sujeitos a ações físicas, biológicas ou mecânicas, representando um dos aspetos primordiais na sua caracterização (Henriques, 2012). A NP 180 (1962) – Anomalias e defeitos da madeira, estabelece os principais defeitos que podem ocorrer na madeira e fornece diretrizes para avaliar a sua qualidade. A qualidade da madeira é determinada de acordo com forma como se apresenta a própria estrutura do lenho, largura dos anéis, orientação das fibras, localização e extensão de defeitos naturais.

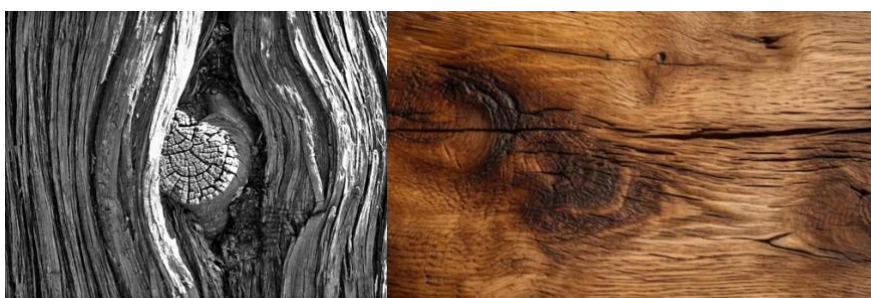
2.3.1.1. Nós

Os nós são porções de ramos incluídos no tronco da planta ou ramo principal. Estes ramos originam-se a partir do eixo central do caule de uma planta (medula) e, com o desenvolvimento anual das camadas

lenhosas, aumentam de tamanho. A forma de um nó no elemento de madeira é função da orientação do plano de corte da madeira em relação ao ramo. Para os diferentes usos da madeira os nós são classificados de acordo com a forma, tamanho, sanidade e firmeza com que estão presos ao caule.

A influência dos nós na resistência mecânica da madeira, ver figura 2.1, deve-se ao facto de corresponderem a material inserido numa peça, cujas fibras são, aproximadamente, perpendiculares à direção geral das fibras da peça (Helena Cruz, 2002).

A rigidez e limite de elasticidade dependem mais da qualidade da fibra de madeira do que dos defeitos, sendo que, o efeito dos nós é a redução da diferença entre a tensão das fibras no limite de elasticidade e o módulo de rutura do elemento de madeira. Desta forma, para um uso estrutural os nós apresentam um carácter depreciativo, afetando a resistência á rutura dos elementos.



Legenda 2. 1 - Presença de nós em elementos de madeira

A medição dos nós é efetuada em todas as superfícies que se manifestem. Os nós são avaliados pela relação entre o seu diâmetro e a altura da peça estrutural, caso se encontrem na face ou, então, pela relação entre o seu diâmetro e a espessura da peça, caso se encontrem no canto.

A (EN14081-1, 2005), apresenta regras de classificação de resistência e fornece princípios básicos, que devem ser seguidos na elaboração de requisitos limites para algumas das suas características. No caso dos nós, caso o seu diâmetro nas porções não totalmente graduadas excederem o tamanho desses defeitos na porção totalmente graduada dessa mesma peça, e exceder os seguintes limites indicados na tabela, a peça seja rejeitada, não cumprindo os valores mínimos de resistência, ver tabela 2.1.

Tabela 2. 1 - Limites máximos para a dimensão dos nós num elemento de madeira.

	Strength class according to EN 338	
	C18 and below	Above C18
Knot diameter on face	$\frac{1}{2}$ x width of piece	$\frac{1}{4}$ x width of piece
Knot diameter on edge	$\frac{3}{4}$ x thickness of piece	$\frac{1}{2}$ x thickness of piece
Slope of grain	1 in 6	1 in 10
NOTE 1 These maximum limits are only applicable where the size of knots and slope of grain in the non-fully graded portion exceeds the size of similar characteristics in the fully graded portion of the same piece.		
NOTE 2 The knot diameter is measured perpendicular to the longitudinal axis of the piece of timber. For arris knots the above limits apply to the portion of the knot visible on the particular face or edge being considered.		

2.3.1.2. Orientação do fio

Devido à forte anisotropia da madeira, esta apresenta três direções principais: longitudinal, tangencial e axial, apresentando maior resistência na direção paralela às fibras que a constituem. Portanto, a inclinação do fio é um defeito traduzido pela existência de um ângulo entre a direção geral das fibras da madeira e o eixo longitudinal da peça (Helena Cruz, 2002), afetando a resistência mecânica da peça e, consequentemente, pior será o seu comportamento durante a secagem em caso de alterações de presença de humidade, podendo originar empenos e fendas.

Este fenómeno pode resultar de anomalias de crescimento, como o fio torcido ou a curvatura do tronco ou processo de corte inadequado.

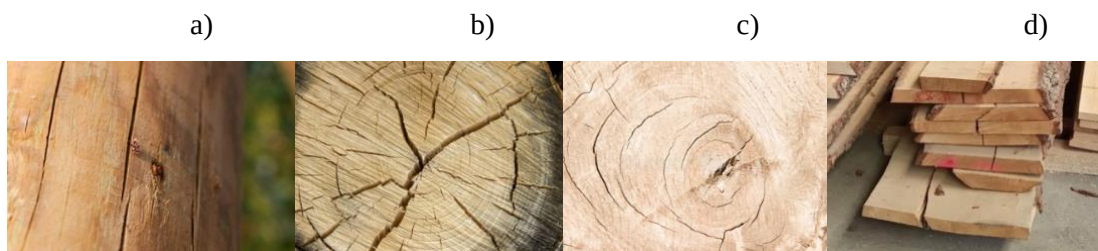
2.3.1.3. Fendas

As fendas são descontinuidades do material lenhoso que surgem através de defeitos de secagem resultantes de tensões internas que se desenvolvem durante o processo de secagem e dão origem a fendas e distorções, ver figura 2.2. Estes defeitos podem ocorrer devido à secagem em excesso ou não uniforme, à existência de peças comprimidas, à presença de nós e/ou à exposição cíclica a variações de humidade e temperatura (Costa, 2015).

A dimensão dos efeitos das fendas na resistência mecânicas dos elementos de madeira, dependem de diversos fatores, entre eles, da sua localização, comprimento e profundidade, bem como da eventual associação com outros defeitos, como nós e fios inclinados (Helena Cruz, 2002). Avaliar a extensão e severidade das fendas é crucial do ponto de vista do comportamento estrutural, e do peso relativo que estas possuem no elemento.

As fendas podem ocorrer na madeira de diferentes formas:

- a) **Fendas de secagem superficiais e profundas:** estão associadas ao processo de secagem da madeira, quando há uma perda rápida de humidade e, são mais pronunciadas, quando a madeira é seca ao ar livre do que em estufas de secagem. Estas fendas de secagem desenvolvem-se perpendicularmente aos anéis de crescimento e são, normalmente, pequenas e estreitas, com espessuras entre 0,5 a 1 mm e comprimentos entre 10 a 30 mm.
- b) **Fendas internas (núcleo):** secções de grandes dimensões são, particularmente, afetadas por este tipo de fendilhação devido à presença da medula (parte central do tronco) que, aumenta a probabilidade de ocorrerem tensões internas devido à secagem desigual da madeira. Ao cortar secções de grandes dimensões, as tensões internas presentes são liberadas, resultando em fendas mais evidentes.
- c) **Fendas internas (alveolado):** estas fendas caracterizam-se por serem mais profundas do que as superficiais e, ocorrem particularmente quando o toro serrado é pequeno, pronunciando-se com espessuras entre 50-100 mm, quando sujeitas a um processo de secagem inadequado.
- d) **Fendas anelares:** estas fendas desenvolvem-se numa zona frágil, como é o caso da interface cerne-borne, em torno dos anéis de crescimento e são, tipicamente, observadas em árvores de crescimentos rápidos durante um curto período em que as células da madeira têm de se adaptar ao novo diâmetro do tronco. Podem ocorrer, também, em árvores sujeitas, durante o crescimento, a flexões frequentes e excessivas devido à ação de ventos intensos ou, ainda, por efeito da congelação.



Legenda 2. 2 - Tipos de fendas na madeira.

Ainda que seja claro o impacto das fendas na integridade do elemento, é difícil quantificar esta fissuração, pelo que, os maiores desafios nas normas de classificação residual residem na definição de limites para a inclusão dessas fendas nas classes de qualidade. Isso requer critérios bem definidos que levem em consideração não apenas a presença de fendas, como também a sua profundidade, largura, desenvolvimento e localização em relação às características estruturais do elemento. A EN 14081-1, define as exigências de desempenho no que respeita aos valores mínimos das características das fendas a serem cumpridos, ver tabela 2.2.

Tabela 2. 2 - - Limites para a dimensão das fendas num elemento de madeira.

Strength class according to EN 338		C18 and below	Above C18
Max. permitted length of fissures *		Fissures less than half the thickness may be ignored	
	Fissures not going through the thickness	Not greater than 1,5 m or ½ the length of the piece, whichever is the lesser	Not greater than 1 m or ¼ the length of the piece, whichever is the lesser
	Fissures going through the thickness	Not greater than 1 m or ¼ the length of the piece, whichever is the lesser. If at the ends, a length not greater than two times the width of the piece	Only permitted at the ends with a length not greater than the width of the piece

2.3.1.4. Descaio

O descaio é um defeito de uma peça de madeira que consiste numa falha nas arestas da peça, com perda de secção transversal. Este defeito implica sobretudo dificuldades de fixação, apoio ou colagem visto que, a perda de resistência devido à diminuição de secção transversal é normalmente desprezável.

2.3.2. DANOS RELACIONADOS COM ATAQUES POR AGENTES BIÓTICOS

A madeira devido à sua composição química, física e às condições ambientais que está exposta, é bastante suscetível a ataques por agentes bióticos e, consiste assim, no tipo de degradação mais comum que afeta as estruturas de madeira. Devido ao comportamento higroscópico da madeira, as situações muito diversas de exposição, influenciam o tipo e a velocidade de degradação do material por agentes biológicos (LNEC, 1997).

Com enfoque nos danos de origem biótica, o risco de ataque por um determinado agente biológico dependerá da localização geográfica do elemento de madeira, tal como, a probabilidade de ataque é influenciada pelas condições ambientais que o rodeiam, sendo de particular importância os fatores que afetam o nível de humidade da madeira, que facilita a sua degradação (NP335, 2018), ver tabela 2.3.

De modo a aplicar medidas preventivas e possíveis intervenções de restauro nas estruturas de madeira, sempre que possível, através da inspeção visual, é necessário que exista um conhecimento das espécies de agentes que causaram a degradação, conhecer a sua biologia e as características principais da sua forma de atuação.

Tabela 2. 3 - Classes de risco de aplicação de madeira maciça (adaptado de (Helena Cruz, 2002); (NP335-2, 2011)).

Classes de risco	Situação geral de serviço	Exposição à humidade	Teor de água da madeira	Principais agentes biológicos
1	No interior, sem contacto com o solo (ex: pavimentos)	Nenhuma	Seco, 20% no máximo	Caruncho Térmitas
2	No interior, sem contacto com o solo, mas com risco de humificação (ex: estruturas de cobertura)	Ocasional	Ocasionalmente, > 20%	Caruncho Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão parda
3	No exterior, sem contacto com o solo (ex: caixilharias)	Frequente	Frequentemente, > 20%	Caruncho Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão parda Fungos de podridão branca
4	No exterior, em contacto com o solo ou água doce (ex: fundações)	Permanente	Permanentemente, > 20%	Caruncho Térmitas Fungos cromogéneos Fungos de podridão parda Fungos de podridão branca Fungos de podridão mole
5	Em contacto com água salgada (ex: pontões)	Permanente	Permanentemente, > 20%	CR 4 + Xilófagos marinhos

2.3.2.1. Fungos Xilófagos

Os fungos constituem um vasto grupo de vegetais primitivos que se encontram ativos na natureza, vivendo em simbiose com outros seres vivos, de forma saprófita (alimentando-se de elementos mortos) ou parasita (Palmeira, 2010).

Estes fungos são dos principais causadores de biodeterioração e estabelecem-se na madeira por meio de poros que encontram as condições ambientais adequadas necessárias para germinar, originando um filamento denominado de hifa que se espalha internamente. As hifas instalam-se nas cavidades celulares e alimentam-se de substâncias presentes na madeira, incluindo a parede celular. À medida que o fungo se alimenta e cresce, processo que pode ser acelerado pela presença de humidade e temperatura adequada, forma uma rede de hifas denominada de micélio.

Geralmente, nas fases iniciais de deterioração, não é possível visualizar macroscopicamente sinais do fungo e, por vezes, quando este é detetado, a madeira já se encontra degradada.



Legenda 2. 3 - Ciclo biológico dos fungos.

Tradicionalmente, os fungos podem distinguir-se em dois grupos (Artur Feio, 2005), ver figuras 2.4, 2.5, 2.6, e 2.7:

- a) **Fungos cromogéneos** – estes crescem em madeira com um teor de água superior a 25-30% e não causam uma degradação significativa na resistência da madeira, já que se alimentam apenas das substâncias presentes no interior das células lenhosas. Este tipo de fungos ocasiona uma alteração da tonalidade da madeira, ocorrendo uma descoloração exterior que é motivada pelo crescimento de bolores na sua superfície e manchas azuladas fomentadas pelo desenvolvimento de fungos.



Legenda 2. 4 - Fungos cromogêneos.

- b) **Fungos de podridão** – em contrapartida, estes fungos são os que provocam danos graves na madeira, alimentam-se diretamente da parede celular, levando à sua destruição. Essas deteriorações são facilmente detetáveis pela perda de peso e de resistência da madeira, acompanhadas por mudanças visíveis na cor e aparência. Estes fungos crescem na madeira para valores de humidade superiores a 20%. É de notar, que madeira imersa em água não está sujeita ao ataque destes fungos, por se encontrar saturada.

Por sua vez, os **fungos de podridão** podem ser classificados em três grupos (Juan A. Martín, 2023):

- a) **Podridão branca ou fibrosa** – a podridão branca ataca a celulose, hemicelulose e a lignina, conservando consideravelmente a estrutura da madeira. Só quando a madeira sofre perdas de aproximadamente 70% do seu peso, se constata uma desintegração do aspecto fibroso (Palmeira, 2010). A madeira atacada toma um aspecto fibroso e uma cor esbranquiçada, devido ao complexo celulósico resultante e à carência de lignina em determinadas zonas. As principais espécies de fungos responsáveis por este tipo de podridão são: *Schizophyllum commune* F., *Polystictus versicolor* F. (Folhosas e Resinosas) e *Stereum hirsutum* W., *Eutypa flávio-virescens* F. e *Xylaria hypoxylon* G. (Folhosas). Este tipo de podridão é mais comum em madeiras de espécie Folhosas do que Resinosas, devido à maior quantidade de lignina presente.



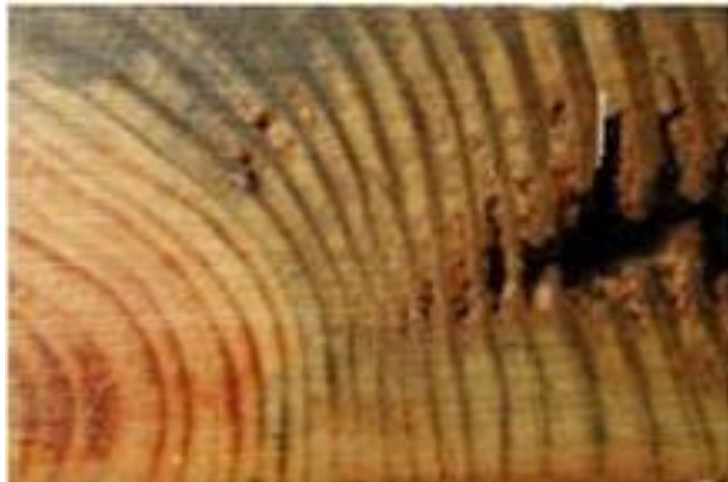
Legenda 2. 5 - Podridão branca.

- b) **Podridão parda ou cúbica** – estão constantemente associados à degradação de madeiras maciças e divergem dos fungos de podridão branca, pela incapacidade de degradar a lignina, degradando preferencialmente a parede celular, deixando um resíduo castanho formado principalmente por lignina. Quando o elemento seca, devido às alterações de volume, o material residual tende a rachar, formando uma estrutura de pequenos cubos ou prismas que se desagregam facilmente por contacto mecânico, desfazendo-se em pó. É comum encontrar este tipo de podridão nas junções entre elementos estruturais e da cobertura com as paredes, por se tratar de áreas húmidas e com pouca ventilação. A podridão parda ou cúbica é causada por fungos como *Serpula lacrymans* ou *Merulius lacrymans*, que possuem a capacidade de transportar a água de zonas húmidas para as zonas secas. Estes fungos podem proliferar mesmo em condições onde a humidade é escassa, contribuindo para a degradação de elementos de madeira.



Legenda 2. 6 - Podridão cúbica.

- c) **Podridão mole ou branda** – tanto capazes de degradar a parede celular quanto a lignina, estes fungos são adaptados a ambientes pouco arejados, sendo capazes de se desenvolver em ambientes onde os fungos de podridão branca e parda não são capazes devido à falta de oxigenação, tais como, em madeiras saturadas ou com elevados níveis de humidade de que são exemplo os elementos de madeira dos sótãos e os elementos em contacto com o solo. A madeira atacada restringe-se à sua superfície, dificilmente penetrando mais de 2cm de profundidade e apresenta enquanto húmida um aspeto mole ou esponjoso e, ao secar, apresenta coloração aquecida, áspera e com fissuras no sentido das fibras. Esta podridão é causada, essencialmente, pelos *Cephalosporium* e *Chaetomium*.



Legenda 2. 7 - Podridão mole.

Tabela 2. 4 - Principais tipo de fungos xilófagos - adaptado de (Botelho, 2006).

Principais tipos de fungos xilófagos				
Tipo de fungo	Carácter	Forma de degradação	Necessidade de humidade	Madeira atacadas
Cromogéneos	Não destrutiva	Coloram a madeira; Propiciam outros ataques, como fungos de podridão.	Sim	Resinosas e Folhosas
Podridão Branca ou Fibrosa	Não destrutiva	Atacam a lenhina dos apoios; Deixam uma coloração esbranquiçada e aspecto morfológico fibroso.	Sim	Resinosas e Folhosas
Podridão Parda ou Cúbica	Destrutiva	Atacam a celulose e hemicelulose; Deixam resíduos pardos de coloração escura e fissuração cúbica; A madeira desfaz-se em pó entre os dedos.	Sim	Resinosas e Folhosas
Podridão branda ou mole	Destrutiva	Atacam a celulose de madeiras em contacto com o solo e/ou zonas bastante húmidas e sem ventilação; Deixam uma coloração esbranquiçada e aspecto esponjoso.	Sim	Resinosas e Folhosas

2.3.2.2. Insetos Xilófagos

Os insetos xilófagos são espécies animais degradadoras da madeira. Os ataques desses insetos perfuram o material lenhoso e pode ser distinguido de outras formas de deterioração pela presença de orifícios na superfície da madeira ou de galerias no seu interior (Palmeira, 2010).

No quadro abaixo apresentam-se as classes e famílias dos insetos xilófagos. As classes mais comuns são a dos Isópteros e dos Coleópteros. Nos Coleópteros as famílias mais comuns são os Lícidos, os Anóbidos e os Cerambídeos, ver tabela 2.5.

Tabela 2. 5 - Principais classes e famílias de insetos xilófagos – adaptado de (Palmeira, 2010).

Principais famílias de insetos xilófagos			
Classes	Famílias	Espécies	Madeira atacadas
Leptidópteros	Cóssidos	<i>Cossus cossus</i> L.	Folhosas
Himenópteros	Sirícidos	<i>Sirex gigas</i> L. <i>juvencus</i> L.	<i>Paururus</i> Resinosas
Isópteros	Termítidos	<i>Reticulitermes lucifugus</i> L. <i>Cryptotermes brevis</i> Walker.	Folhosas e Resinosas
Coleópteros	Bostrichidos	<i>Bostrychus capucina</i> L. <i>Sinoxylum sexdentatum</i> Oliv. <i>Rhincolus culinaris</i> L.	Folhosas
		<i>Pselactus spadix</i> Herbst. <i>Amaurorrhinus bewickiamus</i> Wall	Folhosas
		<i>Lictus brunneus</i> Steph. <i>Lictus linearis</i> Goetz.	Folhosas
	Anóbidos	<i>Anobium punctatum</i> De Geer. <i>Xestobium rufovillosum</i> De Geer. <i>Oligomerus ptilinoides</i> Wall. <i>Oligomerus brunneus</i> Sturm.	Folhosas e Resinosas
		<i>Hesperofanes cinereus</i> Vill. <i>Estromatium fulvum</i> Vill.	Folhosas e Resinosas
		<i>Ergates faber</i> L. <i>Plagionotus arcuatus</i> Muls. <i>Hylotrupes bajulus</i> L.	
		<i>Xyloterus lineatus</i> Oliv. <i>Xyleborus saxeseni</i> Ritz. <i>Platypus cylindricus</i> Fab.	
	Escolítidos y Platipódidos		Folhosas

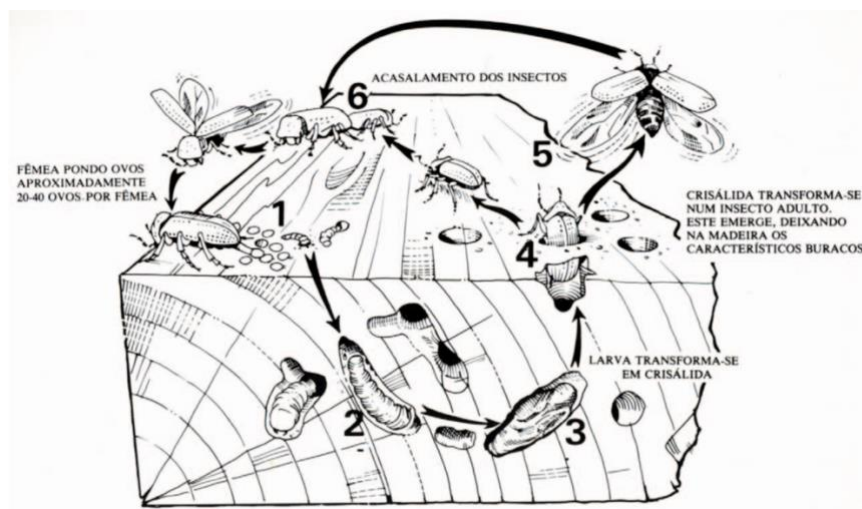
INSETOS DE CICLO LARVAL

O ciclo biológico dos insetos de ciclo larval começa quando os ovos depositados pelas fêmeas adultas nos orifícios e/ou fendas da madeira, ou mesmo em profundidade, por baixo da superfície da peça. O processo de desenvolvimento tem a duração média de três a quatro semanas, até que os ovos eclodem e as larvas, por 3 a 4 anos, alimentam-se dos componentes da madeira, sendo responsáveis pela sua degradação. Os produtos que sobram dessa atividade alimentícia são misturados com os seus excrementos, formando na parte exterior da peça os resíduos chamados de serrim.

Quando a larva chega ao fim do seu ciclo de vida, aproxima-se da superfície criando galerias paralelas às fibras, até cerca de 1cm de diâmetro que podem comprometer a sua resistência mecânica. Na primavera, geralmente onde ocorre o processo de metamorfose, a larva transforma-se na sua forma de inseto adulto, desloca-se para o exterior da peça de madeira, perfurando a fina camada que a larva havia deixado no final da galeria, formando orifícios circulares visíveis.

Após a saída do inseto adulto da peça de madeira, inicia-se um novo ciclo, através da deposição de novos ovos pelas fêmeas nas extremidades, reentrâncias, fendas ou orifícios da mesma madeira. O inseto adulto é capaz de voar, permitindo-o depositar os ovos em outras superfícies lenhosas, propagando deste modo a infestação para outras peças de madeira. A infestação, por vezes, parece estar latente porque não

são visíveis novos buracos, ainda que as larvas continuem a alimentar-se no seu interior. Ver figuras 2.8 e 2.9 para o caso de caruncho pequeno.



Legenda 2. 8 - Ciclo de vida do *Anobium punctatum*.



Legenda 2. 9 - Presença de Caruncho nos elementos de madeira.

Os insetos de ciclo larval pertencem à classe dos Coleópteros, sendo as famílias mais comuns a dos **Anóbidos** (caruncho); **Cerambycídeos** (caruncho grande); **Líctidos** (traça); **Curculiónidos** (gorgulho) e **Bostríchidos**.

Estes insetos que se alimentam essencialmente pelo borne da madeira, são frequentemente encontrados em madeira estrutural a profundidades médias de 4 a 5 cm, prosperando em condições de elevados teores de humidade.

De forma a identificar o inseto em causa, é importante ter em conta características como, o tamanho e forma das galerias, orifícios de saída junto com o tipo de serrim, a espécie da madeira e a humidade da mesma.

INSETOS SOCIAIS

As **térmitas** são insetos da classe Isóptera, em Portugal, a espécie mais comum é a *Reticulitermes lucifugus* L, conhecida por formiga branca. Vivem em colónias altamente organizadas, onde cada cargo desempenha funções específicas. Estas colónias apresentam uma estrutura social avançada com três classes principais:

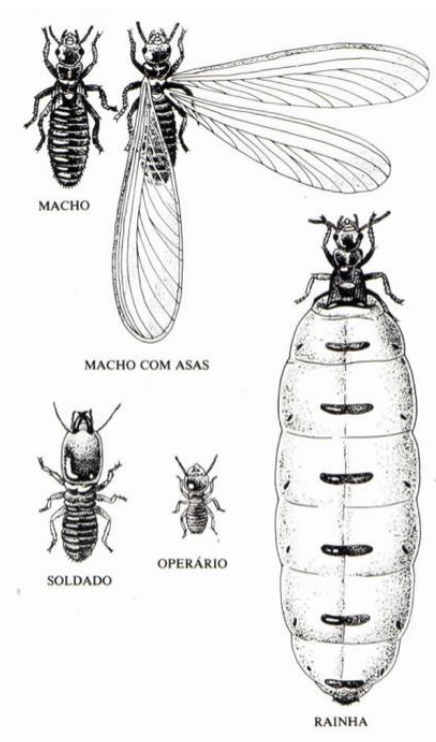
- a) Indivíduos sexuais ou reprodutores;
- b) Soldados;
- c) Obreiros.

A morfologia das térmitas varia significativamente com as funções que desempenham na colónia.

Os indivíduos reprodutores são fundamentais para a colónia, sendo responsáveis pela reprodução e expansão do grupo. Dentro desta classe, existem três subgrupos: os reprodutores principais (casal real fundador), os reprodutores secundários (que garantem a continuidade da reprodução na ausência de reprodutores principais e no auxílio da reprodução da colónia) e os reprodutores com asas (abandonam o ninho para criar novas colónias).

Os soldados têm a função primária de proteger a colónia. Para isso, possuem cabeças e mandíbulas grandes em comparação com o resto do corpo, o que os torna eficazes na defesa contra predadores.

Os obreiros, por outro lado, são encarregues da manutenção da colónia. As suas tarefas incluem a busca de alimento os elementos reprodutores e a construção/manutenção do ninho. Diferem dos soldados pelo que, não possuem asas e possuem uma cabeça menor, com um aparelho bucal adaptado para tarefas de erosão e manipulação de materiais. Ver figura 2.10.



Legenda 2. 10 - Morfologia das térmitas.

O ciclo de vida das térmitas, inicia-se com a deposição dos ovos pela rainha, num novo local de forma constituírem um ninho. A quantidade de ovos pode variar, mas uma rainha pode produzir milhares de ovos ao longo da sua vida, cerca de 10.000 ovos por dia.

Dos ovos eclodem as ninfas, que passam por várias trocam de exoesqueleto, à medida que se desenvolvem. As ninfas assumem a forma de uma das classes sociais descritas em função das necessidades da colônia e de fatores ambientais. Normalmente, as primeiras deposições de ovos resultam no nascimento de obreiros, de forma a construírem um novo ninho.

As térmitas alimentam-se da celulose das peças de madeira, como também, de outros materiais que contenham celulose, como o papel e os têxteis. Elas criam galerias características no interior da madeira, paralelas à direção das fibras, intercaladas com lâminas de madeira sã. Isso explica-se pelo facto que as térmitas se orientam pela resistência da madeira, atacando geralmente as partes mais brandas da madeira. Assim, elas alimentam-se, preferencialmente, madeiras cujos anéis de crescimento sejam bem diferenciados, optando pela madeira mais branda da Primavera e deixando, o material o material lenhoso do ciclo por atacar (Palmeira, 2010).

Pode-se classificar as térmitas em dois grupos: térmitas subterrâneas, caracterizadas por criarem os ninhos no subsolo e térmitas de madeira seca.

As térmitas subterrâneas apresentam maior incidência e relevância em Portugal, realizam galerias subterrâneas para que se possam deslocar e aceder aos edifícios. Geralmente, procuram ambiente de escuridão, temperatura moderada relativamente constante e humidade permanente, necessário à sua

sobrevivência. Estas térmitas preferem madeira que esteja em contacto com o solo, mas podem infestar qualquer madeira que encontrem ao longo das suas galerias subterrâneas. Durante a sua atividade eles coletam terra húmida com a qual recobrem os canais construídos, garantindo a conservação da humidade.

Por outro lado, as térmitas de madeira seca, implantam os seus ninhos na própria madeira. Geralmente, infestam a madeira que não está em contacto direto com o solo, em locais mais elevados, como o mobiliário.

Identificar a infestação é, na maioria das vezes, difícil pois os danos causados pelas térmitas não são imediatamente visíveis por ocorrerem no interior dos elementos de madeira, deixando uma camada fina exterior intacta. Assim, os danos só são detetáveis quando se verificam deformações excessivas, fendilhações de revestimentos ou mesmo a rotura estrutural. Ver figura 2.11.

O controle e prevenção de térmitas subterrâneas inclui barreiras químicas no solo, tratamentos de solo e iscas termicidas, enquanto que, o controle e prevenção de térmitas de madeira seca inclui fumigação de madeira infestada, aplicação de inseticidas diretamente na madeira e medidas preventivas, como inspeção regular e manutenção da madeira em boas condições.



Legenda 2. 11 - Ataque de térmitas nos elementos de madeira, secção longitudinal.

A tabela 2.6, apresenta um quadro-resumo dos principais insetos xilófagos presentes em Portugal continental.

Tabela 2. 6 - Quadro resumo de insetos xilófagos de degradação da madeira - adaptado de (Botelho, 2006).

Agente	Galeria	Dimensões Orifício/Agente	Marcas e Restos	Madeira Atacadas	Zona	Necessidade de humidade
Anóbios (Carunho)						
	Sim	Orifício: Circular 1,5 a 9 mm Agente (adulto): 2 a 11 mm	Serrim fino e rugoso; Atacam preferencialmente madeira de mobiliário; A fêmea emite ruído audíveis, ao chamar o macho.	Resinosas e Folhosas	Borne	Não
Cerambicídeos (Caruncho grande)						
	Sim	Orifício: Ovóide 4x7 mm Agente (adulto): 10 a 20 mm	Serrim e excrementos; Faz ruído ao alimentar-se da madeira; Consegue escavar galerias até 1 cm de diâmetro, de orientação diversa (ataque perigoso).	Resinosas	Borne	Não
Líctidos (Traça)						
	Sim	Orifício: Circular 1 a 2 mm Agente (adulto): 3 a 8 mm	Serrim amarelado muito fino; Atacam geralmente pavimentos de madeira.	Folhosas	Borne	Não
Curculiónidos (Gorgulho)						
	Sim	Orifício: Circular 1 a 2 mm Agente (adulto): 3 a 5 mm	Serrim fino e pulverento; Produzem ataques muito concentrados.	Resinosas e Folhosas	Borne e Cerne	> 20%
Bostríchidos						
	Sim	Orifício: Circular 3 a 6 mm Agente (adulto): 4 a 6 mm	Atacam preferencialmente pavimentos de madeira; Produzem serrim muito fino, de cor creme.	Folhosas	Borne	Sim
Térmitas						
	Sim	-	Cria galerias longitudinais de aspecto fibroso, não visíveis pelo exterior; Deslocam-se em galerias subterrâneas, pelo interior das alvenarias ou por galerias de terra exteriores; Os ninhos situam-se, normalmente, no	Resinosas e Folhosas	Borne e Cerne	-

Embora certas bactérias e fungos possam degradar a madeira em ambiente marinhos, os moluscos e crustáceos, são os organismos que degradam a madeira submersa em taxas mais elevadas (Juan A. Martín, 2023).

Numa primeira fase as ondas degradam a superfície da madeira. Posteriormente, a madeira absorve a água, desencadeando um processo de hidrólise e as atividades físicas e químicas contínuas favorecem o ataque dos agentes marinhos.

Os moluscos realizam uma degradação no interior da madeira que não pode ser visível e, por sua vez, os crustáceos realizam uma degradação superficial que é visível pelo exterior, diferenciando-se, assim, pela forma de ataque e pelo espectro da madeira degradada.

2.3.3. DANOS RELACIONADOS COM AGENTES FÍSICOS E QUÍMICOS

A madeira apresenta durabilidade natural, ou seja, capacidade de conservação face ao ataque de agentes externos, entre eles, agentes atmosféricos, sem a aplicação de tratamento preservador. Esta resistência depende de fatores incluindo, a espécie da madeira que reflete nas suas características mecânicas e, consequentemente, a propensão da madeira para manter baixos os níveis de teor em água.

Assim, os agentes físicos ou determinadas ações químicas desempenham um papel significativo na deterioração da madeira, esse desgaste, ao longo do tempo, compromete a sua integridade e durabilidade. Para o aumento da durabilidade da madeira é aconselhável a aplicação de produtos preservadores do material, o seu sucesso depende da impregnabilidade da madeira, ou seja, da capacidade de absorção da madeira face à aplicação de tratamentos preservadores.

2.3.3.1. Agentes atmosféricos

A exposição da madeira aos raios ultravioleta do sol para além de causar descoloração da cor da madeira (escurecimento da madeira e posterior mudança para a cor cinzenta associado a madeira “velha”), contribui para a degradação química da linhina.

Ainda que a destruição total da matéria lenhosa só possa acontecer por ação dos agentes biológicos (Faria, 2004), a exposição intensa ao sol combinada com a incidência direta da chuva, remove o material deteriorado da madeira expondo-a progressivamente.

Para além disso, exposição a estas variações ambientais, provoca ciclos de retração/expansão, em que a madeira retrai quando seca, sofrendo contração e expande com a absorção da humidade, aumentando sensivelmente de volume. Este processo leva ao desenvolvimento de fendas e empenos causados por variações dimensionais diferenciais, o que constitui uma certa forma de deterioração, embora na maioria dos casos sem grandes consequências a nível da resistência mecânica (Helena Cruz, 2002).

Para proteger a madeira, a aplicação de revestimentos como tintas e vernizes, permite formar uma barreira protetora para bloquear a incidência direta dos raios ultravioleta do sol, bem como, ter uma ação hidrófuga de forma a reduzir a absorção de humidade.

2.3.3.2. Fogo

A madeira é um material naturalmente combustível, o que significa que é suscetível a alimentar a combustão e a ser consumido pelo fogo. Dá-se a carbonização da madeira que ocorre quando esta é exposta a temperaturas elevadas. A carbonização da madeira pode ser benéfica, uma vez que, a camada carbonizada (carvão) pode atuar como isolante térmico temporário (3 vezes mais isolante que a madeira), retardando a propagação das chamas para as camadas mais internas da madeira. Essas camadas

continuam a desempenhar as suas funções ainda que a sua integridade estrutural possa ser comprometida se a carbonização avançar em excesso.

Ainda que a madeira arda com uma velocidade bastante baixa, o Eurocódigo 5 admite uma taxa de carbonização de 0,6mm/minuto, que juntamente com a sua capacidade de isolamento térmico lhe confere uma elevada resistência ao fogo em estruturas, é importante considerar que a sua resistência ao fogo está fortemente ligada à superfície específica da madeira (Helena Cruz, 2002). Uma maior superfície específica, traduz-se em secções transversais superiores e, consequentemente, numa elevada resistência ao fogo comparativamente com secções transversais de menores dimensões. As ligações metálicas constituem um ponto de debilidade das estruturas de madeira pelo que, devem ser devidamente protegidas.

Para além disso, de forma a melhorar o comportamento de estruturas existentes, o revestimento com materiais de baixa reação ao fogo, à base de gesso ou fibrocimento, ou tratamentos ignífugos podem ser aplicados à madeira de forma a melhorar a sua resistência ao fogo. Esses tratamentos podem retardar a propagação das chamas e reduzir a inflamabilidade da madeira.

2.3.4. DANOS RELACIONADOS COM MÁ CONCEÇÃO OU USO ESTRUTURAL

Uma parte significativa dos presentes na madeira estão relacionados com a má conceção ou uso estrutural. A sua deterioração está associada às seguintes situações:

- a) Secção insuficiente para as cargas atuantes;
- b) Espaçamento inadequado entre elementos estruturais;
- c) Deformações elevadas devido à fluência e ao envelhecimento das peças, caracterizadas por roturas, fendas, etc;
- d) Roturas nas ligações provenientes de um mau dimensionamento/disposição inadequada dos elementos de fixação, de deformações elevadas e uso de pregos, parafusos ou cola inadequados;
- e) Deficiente contraventamento que leva à instabilidade estrutural;
- f) Eliminação de apoios verticais após obras de reabilitação em que, muitas vezes, as taipas oferecem funções estruturais de apoio vertical;
- g) Degradações das estruturas em zonas críticas, tais como, apoios de vigas em asnas, resulta na redução de ventilação natural podendo levar à acumulação de humidade e, consequentemente, à deterioração e apodrecimento da estrutura;
- h) A orientação das fibras de madeira é crucial para garantir a resistência adequada da estrutura. Se os componentes estruturais não forem orientados corretamente, pode resultar em potenciais locais de falha.

2.4. VALORES DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MADEIRA

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRA EM CLASSES DE QUALIDADE

O sistema europeu de classificação de madeiras em classes de qualidade é regulamentado pelas normas da série EN 14081, publicadas em 2005. Estas normas estabelecem as diretrizes para a classificação de madeiras destinadas a uso estrutural.

Existem dois métodos de classificação: visual e por máquina. Assim a série da norma é composta por 4 partes:

- a) EN 14081.1 – Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1 – General requirements;
- b) EN 14081.2 - Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2 – Machine grading: additional requirements for initial type testing;
- c) EN 14081.3 - Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 3 - Machine grading: additional requirements for factory production control;
- d) EN 14081.4 - Timber Structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4 - Machine grading – grading machine settings for machine controlled systems.

As propriedades físicas e mecânicas especificadas na norma EN 338 para cada classe de resistência associam-se a classes de qualidade que resultam da **classificação visual** da madeira em função dos seus defeitos (Botelho, 2006). A EN 14081-1, apresenta diversos requisitos genéricos que uma peça estrutural deve atender para ser incluída em uma determinada classe de resistência.

A norma EN 1310 (1997), estabelece os critérios para a medição desses defeitos.

Ainda que existam normas de classificação visual específicas para grupos de espécie aplicadas a cada país europeu, a norma EN 14081-1, define as regras gerais, que vigorará na Europa para o sistema de classificação visual.

A **classificação por máquina**, é amplamente utilizada em países desenvolvidos onde a madeira é frequentemente utilizada como material estrutural, entre eles, o Norte e Centro da Europa, EUA, Canadá, Austrália e Japão.

A classificação por máquina pode ser controlada pelo produto (*output controlled*) ou pela máquina (*machine controlled*).

O sistema de classificação controlado pelo produto, é adequado para serrações contínuas, com um número limitado de dimensões, espécies e classes de qualidade. O controlo do produto classificado é realizado diariamente, com testes de controlo em peças selecionadas aleatoriamente dos lotes classificados, de acordo com a norma EN 208 (2003). Esses testes, combinados com procedimentos estatísticos adequados, são utilizados para ajustar os controlos de máquina e garantir a correta classificação em cada classe.

O sistema de classificação controlado por máquina, avalia continuamente uma propriedade mecânica da peça de madeira, geralmente, o módulo de elasticidade na direção ao fio. Para cada classe, existem deformações limites estabelecidas, considerando uma tensão aplicada continuamente às peças que permitem a sua classificação. Este sistema, é sustentado por um esforço contínuo de investigação, que permite ajustes constantes da máquina para o processo de classificação.

Assim, enquanto o sistema controlado pelo produto exige testes diários para validar a classificação, o sistema controlado pela máquina baseia-se em ajustes contínuos ainda que, necessite de operários qualificados para garantir a remoção completa de peças com defeitos graves ou críticos.

2.4.2. ATRIBUIÇÃO DE CLASSES DE RESISTÊNCIA

A (EN338, 2009), define as classes de resistência e fornece os valores característicos das propriedades físicas e mecânicas, facilitando assim a sua aplicação em projetos de estruturas de madeiras.

A metodologia para atribuir classes de resistência a madeira em serviços é definida na norma europeia EN 338, que permite associar uma determinada família de madeiras a uma determinada classe de resistência, desde que os valores característicos da resistência à flexão na direção paralela às fibras ($f_{m,k}$), massa volúmica (ρ_m) e o seu módulo de elasticidade médio na direção paralela às fibras ($E_{0,m}$) sejam iguais ou superiores aos valores indicados no quadro 2.4 da norma referida, para a respetiva classe de resistência.

A uma determinada classe de resistência, corresponde uma população de madeira caracterizada pela sua espécie ou grupo de espécies, origem e qualidade. Este sistema de classe de resistência permite agrupar espécies e qualidades que compartilham propriedades mecânicas semelhantes, o que é crucial dada a grande diversidade de madeiras disponíveis.

Desta forma, para estabelecer uma correspondência entre a espécie de uma população de madeira a uma classe de resistência, é necessário identificar três propriedades:

- a) Resistência à flexão, $f_{m,k}$;
- b) Massa volúmica, ρ_m ;
- c) Módulo de elasticidade, $E_{0,m}$.

A separação de classes de resistência entre as populações Resinosas e Folhosas é representada pela letra C (coniferous, termo em inglês) e pela letra D (deciduous, termo em inglês), seguida de um número que representa o valor característico da resistência à flexão, expresso em N/mm^2 .

Atualmente, a EN 338, define 12 classes de resistência para as Resinosas (C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50) e 8 classes de resistência para as Folhosas (D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60, D70), ver tabela 2.7.

Tabela 2. 7 - Classes de resistência – valores característicos (EN338, 2009).

		Softwood species												Hardwood species							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Strength properties (in N/mm ²)																					
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Stiffness properties (in kN/mm ²)																					
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Density (in kg/m ³)																					
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080
NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.																					
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.																					
NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																					
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.																					

Para a madeira recentemente produzida, as classes de resistência estão definidas na norma europeia EN 338 e fornecem valores característicos das propriedades mecânicas, no entanto, no caso de madeira antiga, apenas existe a norma europeia EN 17121 (Conservação do património cultural – Estruturas históricas de madeira – Diretrizes para avaliação in situ de estruturas de madeira), que especifica o uso da classificação visual, mas não fornece quaisquer regras de classificação visual ou valores mecânicos.

Por outro lado, em Itália, a norma UNI 11119 contém regras de classificação visual e valores mecânicos, para o diagnóstico de estruturas de madeira pertencentes ao património cultural, alvo deste estudo. Propõe um sistema de classificação em três graus (I, II, III), e tem como principais parâmetros de classificação os nós, inclinação do fio, decadência e fissuras. Esta norma propõe uma classificação ao longo de todo o comprimento da peça e deve ser extremamente rigorosa nas zonas críticas, como apoios de vigas em muro de fachada, lajes em pilares, apoios de pilares.

A correlação entre as singularidades da madeira apresentadas acima e as propriedades mecânicas, proposta pelo Joint Committee on Structural Safety, pode ser classificada como baixa a média para R^2 compreendido entre 20% a 60%, alta para R^2 compreendido entre 60% a 80% e muito elevada para valores de R^2 superiores a 80%.

A utilização de atuais normas de classificação para madeira nova é inadequada por diversas razões, entres as quais se destacam as seguintes:

- As dimensões das secções atuais são geralmente muito superiores às atualmente utilizadas;
- A fiabilidade da aplicação das normas atuais à madeira histórica não foi adequadamente verificada;

- c) Alguns dos defeitos, como distorções e fissuras, que geralmente são maiores em madeiras com secção transversal superiores, dificilmente afetam as propriedades mecânicas.

Assim, quando estes procedimentos de classificação são aplicados a elementos de madeira antiga, surgem algumas desvantagens, como, elementos do mesmo lote serem atribuídos a classes de resistência diferentes, percentagem de rejeição elevada e, não seria possível descartar elementos rejeitados numa estrutura de madeira existente.

Nas estruturas existentes, nem sempre é possível aceder às quatro faces de uma peça, por se encontrarem ocultas, a classificação visual é, portanto, insuficiente e incompleta. Após testes mecânicos, os resultados mostram que a classificação visual subestima a capacidade de suporte de carga (Arriaga, 2022), pelo que, a utilização de ensaios não destrutivos melhora a sua previsão.

2.4.3. RELAÇÃO ENTRE CLASSES DE QUALIDADE E CLASSES DE RESISTÊNCIA

Em Portugal, a classificação em classes de qualidade é aplicada à madeira de Pinho bravo, conforme estabelecido na norma NP 4305, que classifica essa madeira em classes “E” e “EE”. Essas classes são atribuídas com base em critérios de classificação visual ou mecânica, e é necessário estabelecer uma correspondência entre elas e as classes definidas na EN338.

A norma europeia EN 1912: 2004 “Structural timber – Strength classes – Assignment of visual grades and species”, aborda a relação entre classes de qualidade e classes de resistência, conectando a madeira de diferentes espécies com os sistemas de classificação nacionais e suas respectivas classes de resistência (MarcadorPosição2). Esta norma associa a cada uma das classes de resistência, as classes de qualidade e respetivas espécies (definidas pelo nome comercial e botânico) que lhe correspondem, de acordo com as normas de cada país que lhe dá origem.

2.5. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA

2.5.1. INTRODUÇÃO

É relevante a valorização do potencial das técnicas não destrutivas, como os ensaios não destrutivos (END), no auxílio à avaliação visual da resistência na determinação das características mecânicas. Uma propriedade que está fortemente associada às características mecânicas e que pode ser avaliada in situ é o módulo de elasticidade dinâmico, que prevê em conjunto com outros fatores a resistência e rigidez da madeira envelhecida, através de instrumentos que determinam a velocidade de propagação das ondas e da densidade do material. No entanto, a aplicação prática destes modelos preditivos ainda não é amplamente difundida na avaliação de estruturas antigas de madeira, principalmente devido à necessidade de uma avaliação mais abrangente e à variabilidade significativa dos níveis de incerteza observados em vários estudos até ao momento (Nocetti, 2024).

2.5.2. CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADE

De forma a garantir, uma inspeção visual eficaz deve-se melhorar as condições preliminares de acesso, limpeza, iluminação e disponibilidade de elementos gráficos, para que se possam identificar características como, a inclinação do fio, a variação de cor entre cerne e borne, a alteração cromática das superfícies devido ao ataque de fungos, galerias de insetos, etc, (Artur Feio, 2005).

A norma italiana (UNI11119, 2004), também estabelece as seguintes condições para a inspeção:

- a) Segurança: a estrutura de madeira deve proporcionar um nível de segurança que permita caminhar por cima ou por baixo, caso contrário, é necessário o escoramento da estrutura.
- b) Acessibilidade: os elementos da madeira devem ser suficientemente acessíveis para permitir a realização dos procedimentos de avaliação. Quando o elemento a inspecionar não é visível, segundo Zoreta (1986), se for conhecido o sistema estrutural, é possível fazer conclusões precisas sem a necessidade de realizar ensaios, sobre a localização das eventuais falhas através dos sinais visíveis. Desta forma, a acessibilidade tem grande influência na escolha da técnica de inspeção.
- c) Iluminação: deve ser utilizada luz adequada (qualidade e intensidade), que permita um correto exame visual dos elementos de madeira como um todo e dos detalhes da sua superfície. Por vezes, as características da superfície são mais fáceis de observar com luz direcional apropriada do que com luz geral brilhante.
- d) Limpeza: a superfície de madeira não deve ser coberta ou ocultada com detritos e poeiras. O profissional a realizar a inspeção deve estar devidamente equipado para limpar as áreas de madeira, utilizando processos a seco (escovação, aspiração, pressão de ar, entre outros).

É de notar que, no caso de elementos de madeira pintados ou cobertos, o relatório de inspeção deve detalhar quais informações não foram obtidas e o motivo.

2.5.3. MÉTODOS GLOBAIS DE ENSAIO

2.5.3.1. Ultrassons

A utilização de ultrassons em ensaios não destrutivos na madeira, consiste na determinação do módulo de elasticidade dinâmico obtido a partir da velocidade de propagação das ondas e da densidade do material. Dependendo da espécie de madeira a ser avaliada, é possível estabelecer uma correlação do módulo obtido e o módulo de elasticidade estático, bem como a resistência mecânica do elemento em questão.

Os ultrassons podem aplicar-se por meio de três métodos distintos:

a) Método de ecos

É o método mais utilizado nos ensaios não destrutivos de metais e outros materiais homogêneos, tornando-se pouco eficaz na inspeção de elementos heterogêneos como a madeira, devido à dispersão significativa das ondas que os atravessam, segundo Arriaga (2002).

O método de ecos envolve a análise da reflexão de ondas ultra-sónicas através de um sistema de sonda que serve como emissor e refletor. Estas ondas são refletidas na parede oposta e de for encontrada uma rachadura no seu trajeto, será produzido um eco que será representado graficamente num osciloscópio.

b) Método de transmissão

Este método é o mais adequado para materiais heterogêneos como a madeira devido à sua capacidade de propagar ondas ultra-sónicas com uma frequência mais baixa relativamente ao método de ecos, de forma a conseguir um alcance maior e maior capacidade de contornar os seus defeitos.

Através deste sistema, na presença de defeitos/vazios/desvios de fibras, ocorre um fenómeno e refração das ondas ultra-sónicas. Isso leva a uma diminuição de amplitude e, consequentemente, a um aumento de propagação das mesmas. Ao comparar os resultados obtidos com os ensaios realizados em elementos sem defeitos da mesma espécie, é possível estabelecer relações com a qualidade e as propriedades mecânicas da madeira.

c) Método de ressonância

Este método requer de um equipamento muito mais complexo e é unicamente aplicável em laboratório a elementos com restrição de dimensões (F. Arriaga, 2002). Utiliza um emissor eletrodinâmico de oscilação, ocorrendo um aumento abrupto de amplitude das oscilações no elemento de madeira devido ao fenómeno ressonância. Com base na frequência de ressonância, densidade e dimensões do elemento de madeira, é possível estimar o seu módulo de elasticidade.

d) Método de imersão

Este método pode ser considerado como um método de ecos ou de transmissão, diferenciando-se dela apenas pela natureza do acoplante de contacto entre as sondas e a peça de madeira. As peças em análise são submersas no próprio meio de contacto que, neste caso, é água (Botelho, 2006).

A velocidade de propagação das ondas depende da rigidez e densidade do material, que pode ser correlacionada com o tempo de propagação e propriedades físicas e mecânicas (Artur Feio, 2005).

Assim, a técnica de ultrassons permite estabelecer uma relação entre a velocidade, v (m/s), de propagação das ondas ultra-sónicas no elemento de madeira, o tempo de propagação da onda entre as duas sondas, t (s) e a energia utilizada, ε (mV). Através do valor da velocidade de propagação das ondas e da densidade do elemento de madeira, ρ (kg/m³), estima-se o módulo de elasticidade dinâmico, E_{din} , expressando-se da seguinte forma:

$$E_{din} = v^2 \times \rho \quad (1)$$

O módulo de elasticidade dinâmico tem um valor ligeiramente diferente do módulo de elasticidade estático, obtido por ensaio mecânico. Na prática, é possível estabelecer uma relação entre o módulo de elasticidade dinâmico, E_{din} , e o módulo de elasticidade estático, E_{sta} , através da constante de proporcionalidade, K , que depende da espécie de madeira pela qual esta deve ser identificada na etapa de inspeção visual (Sandoz, 1989):

$$E_{sta} = K \times E_{din} \quad (2)$$

O módulo de elasticidade dinâmico já foi comparado com o módulo de elasticidade dinâmico por diversos autores, que encontram a correlação ($r^2 = 0.90 - 0.96$) entre os dois.

A utilização da técnica de ultrassons conjuntamente com a classificação visual, possibilitou atingir, o coeficiente de correlação de 85% a 90% para as propriedades físicas e mecânicas da madeira (Arriaga, 2022), relativamente ao módulo de elasticidade e de 53% a 70% para o módulo de rotura.

Assim, as propriedades dinâmicas correlacionam-se suficientemente bem com variáveis estáticas, portanto, após a obtenção do módulo de elasticidade estático é possível estabelecer conclusões sobre a rigidez do material (L. Acuña, 2011). A presença de descontinuidades internas ou defeitos do material, como nós, inclinação do fio, fendas, degradação biológica, provoca uma alteração no percurso das ondas ultrassônicas e, conseqüentemente, um aumento de tempo de propagação das mesmas, resultando na menor resistência dos elementos de madeira.

Para além dos fatores previamente referidos, fatores como a humidade, temperatura e estado de tensão da peça influenciam a velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas. Um incremento de 1% de humidade produz-se uma diminuição da velocidade de propagação de aproximadamente 0,8%, numa regressão linear, entre os 5 e os 30% de quantidade de humidade.

A utilização de métodos ultrassónicos possibilitou melhorar a previsão da capacidade de suporte de carga dos elementos de madeira, de forma que, 90% das peças foram alocadas nas suas classes de resistência ótimas (Arriaga, 2022).

Os dispositivos ultrassónicos mais utilizados são FAKOPP Iltrasonic Timber, Arborsonic Decay Detector, Sylvatest, V-Meter MK IV System, Proceq Pundit Lab+, Pundit 250 Array e Tico (V. Ondrejka et al, 2021), ainda que, o **Sylvatest** e o **PUNDIT** (Portable Ultrasonic Non destructive Digital Tester) sejam os mais difundidos no mercado.

O mais recente **Sylvatest** é um aparelho portátil que consiste em:

- a) Sylvatest 4.0;
- b) 2 sondas cónicas, sendo uma emissora e outra recetora;
- c) Conectividade Bluetooth.

O Sylvatest é o aparelho central, que gere a emissão de ondas ultrassónicas emitindo uma sequência automática de 10 disparos de ondas ultrassónicas, próximas a 20kHz, que se propagam pelo material e são recebidas pela onda receptora, ver figuras 2.12 e 2.13. Posteriormente, as informações coletadas pelas sondas são processadas e disponibilizadas para o utilizador, através do aplicativo Sylvius (Sánchez, 2023).



Legenda 2. 12 - Sonda emissora – Sylvestest.



Legenda 2. 13 - Medição direta (esquerda); Medição indireta (direita).

O ensaio conduzido pela associação destes aparelhos, para além de obter o valor referente à velocidade de propagação de ondas, o tempo de propagação entre as duas sonas e a energia utilizada, permite a classificação do elemento de madeira em classes de resistência (C18, C24, etc) e o módulo de rotura (Botelho, 2006).

O ensaio deverá fornecer sobre o material de teste, ver figura 2.14:

- Espécie;
- Teor de humidade (%);
- Tipo de medição (direta ou indireta);
- Distância entre sondas (cm);

Como, também, as seguintes informações de medição:

- Velocidade de propagação de propagação das ondas (μ s);
- Desvio padrão (%);
- Número de disparos de ondas realizados corretamente;

Por fim, mostra os resultados obtidos a partir de informações de medição:

- Velocidade bruta (m/s);
- Velocidade corrigida (m/s);
- Módulo de elasticidade – MOE (MPa);
- Módulo de rotura – MOR (MPa);
- Classe de resistência.

Measurement	
Parameters	
Species:	Pine
Moisture:	10 [%]
Transducers distance:	484 [cm]
Indirect measurement:	☐
Sylvestest measurement	
Perform signal digitization:	☐
Search for devices ...	
OK	
Propagation time:	893 [μ s]
Standard deviation:	0.7 [%]
Valid shots count:	10
Results	
Rough speed:	5,420 [m/s]
Corrected speed:	5,354 [m/s]
MOE:	11,427.88 [MPa]
MOR:	27.69 [MPa]
C27	

Legenda 2. 14 - Resultados obtidos pelo ensaio com o Sylvestest.

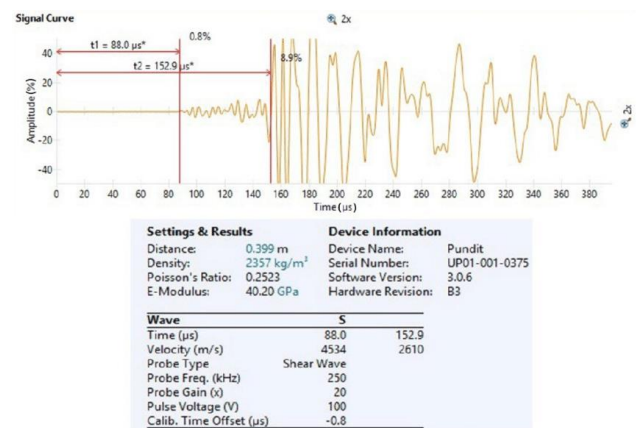
Ainda que, o Sylvatest 4.0 seja o equipamento mais recente, o Sylvatest Duo e Trio continua no mercado como uma boa solução de aplicação, incorporando cabos de conexão.



Legenda 2. 15 - À esquerda Sylvatest Duo; ao centro Sylvatest Trio.

Por sua vez, o PUNDIT, difere-se do anterior pela utilização de frequências superiores e as sondas são caracterizadas pelo seu pico de ressonância, de 37kHz, 54kHz e 150kHz. O aparelho é constituído por, ver figura 2.16:

- Dois transdutores cilíndricos**, um emissor e outro recetor, que serão colocados em contacto com a superfície da madeira através de um acoplante (água, gel ou líquido lubrificante);
- Dispositivo central**;
- Cabos de conexão**.



Legenda 2. 16 - Modelo PUNDIT 200 e respetiva saída de dados.

Recentemente, a tecnologia de eco de pulso ultrassónico (ECU), estende as aplicações de velocidade de pulso ultrassónico a objetos onde o acesso é restrito a um lado. O equipamento PD8050, apresenta potência consolidada em um único dispositivo para imagens estruturais, detecção de objetos e defeitos.

2.5.3.2. Métodos e equipamento de ensaio - Georradar

O método de georradar utiliza radiação eletromagnética de alta frequência para detetar sinais refletidos de estruturas subterrâneas, sendo comumente empregado na avaliação de solos, rochas e elementos de construção (betões, paredes de tijolo). No entanto, estudos exploraram a sua aplicação na deteção de defeitos internos na madeira, onde a radiação com frequências entre 1,5GHz a 2,5GHz é recomendado (Vojtěch Ondrejka, 2021), modelos de frequência mais baixa (900MHz a 1,0GHz) podem ser necessários em madeira particularmente espessa ou húmida (Mariapaola Riggio, 2013).

Este método analisa os principais parâmetros magnéticos dos materiais, incluindo a constante dielétrica, ϵ , permeabilidade magnética, μ e a condutibilidade elétrica, σ . Estes parâmetros são afetados por diversos fatores, como temperatura, densidade e dureza, mas a variação do teor de água é o mais significativo na interpretação dos resultados deste método de inspeção. Pequenas mudanças nesse parâmetro resultam em grandes alterações na constante dielétrica e, consequentemente, na velocidade de propagação das ondas, como se pode observar pela seguinte expressão:

$$t = 2H/(v) \text{ e } v = c/(\epsilon') \quad (3)$$

onde, v – velocidade de propagação das ondas

c – velocidade da luz

t – tempo de reflexão e propagação da onda

H – profundidade da onda eletromagnética

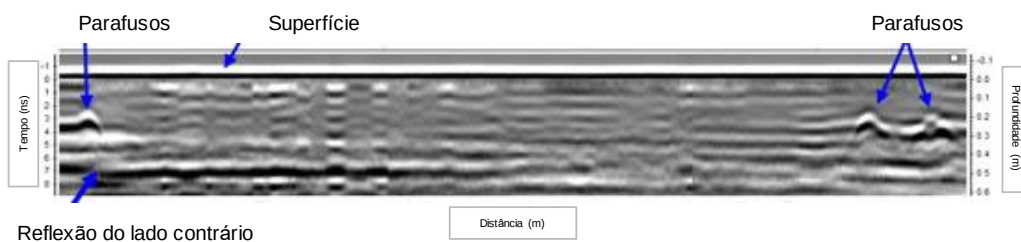
ϵ' – constante dielétrica

Isso facilita a identificação de áreas de humidade ou de degradação em estruturas de madeira, pois os valores da constante dielétrica ou da velocidade são muito superiores aos valores conhecidos para a madeira (Botelho, 2006).

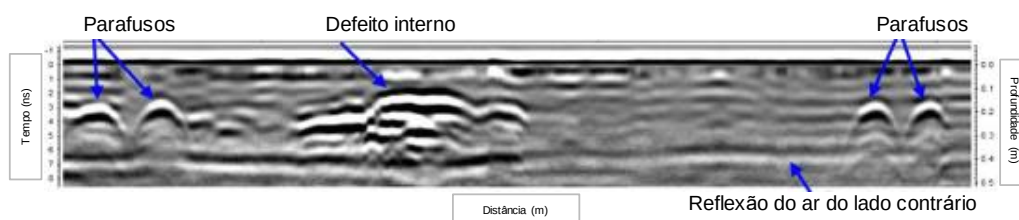
A propagação dessas ondas é influenciada pela variação do meio que atravessam, resultando em fenômenos de reflexão, refração e difração. Ao captar as variações da energia eletromagnética, a antena receptora permite a caracterização do meio atravessado com meio nas mudanças nas propriedades magnéticas dos materiais, como acontece em interfaces contrastantes entre madeira sã e um vazio de ar, vazio de água, madeira degradada, parafusos, entre outros (Mariapaola Riggio, 2013).

Assim, o georradar tem a capacidade de identificar com precisão defeitos internos, como nós, rachaduras e pregos de metal que normalmente não são visíveis. Esta tecnologia apresenta vantagens como a velocidade de digitalização, a boa repetibilidade e a capacidade de detetar a humidade da madeira. Por outro lado, apresenta dificuldade em detetar pequenos defeitos e a sua complexidade no processamento de dados devido aos algoritmos de avaliação ainda estarem em desenvolvimento, constituem limitações à sua utilização.

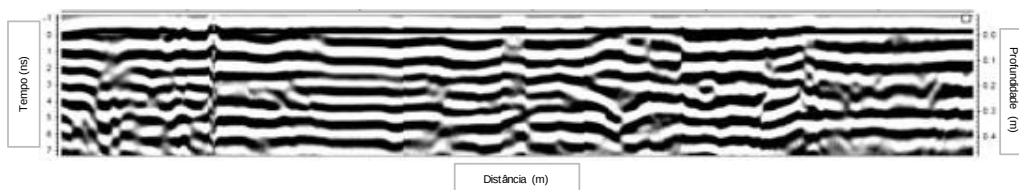
O percurso das ondas eletromagnéticas é representado por um perfil de variação vertical designado por radargrama. Esse perfil, representado abaixo, mostra um exemplo de reflexões registadas no interior de uma viga de madeira devido a uma combinação de vazios, podridões, presença de humidade, bem como, parafusos de aço, ver figuras 2.17, 2.18, 2.19.



Legenda 2. 17 - Viga de madeira com poucas reflexões internas – bom estado.



Legenda 2. 18 - Viga de madeira com um defeito interno localizado.



Legenda 2. 19 - Degradação completa da viga de madeira.

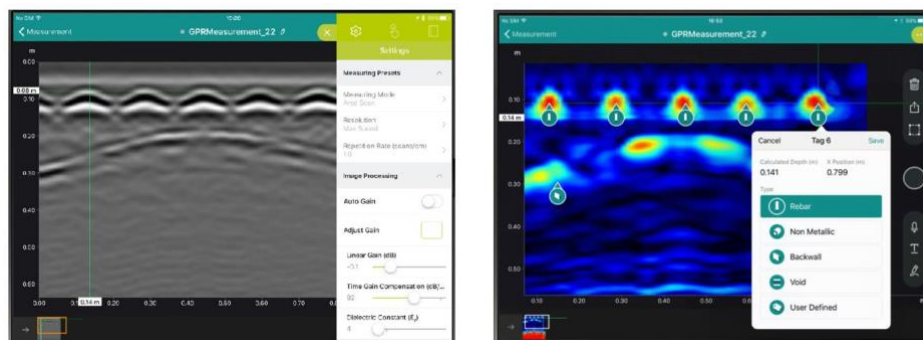
Os defeitos da madeira podem ser distinguidos dos parafusos, pois estes últimos produzem uma reflexão forte e isolada com uma forma hiperbólica. Esta característica também pode ser usada para determinar a velocidade média da onda entre a superfície e o parafuso, usando métodos geofísicos padrão durante o pós-processamento.

A água tem uma influência particularmente forte na resposta do georradar, devido à sua alta capacidade de alterar a propagação do sinal e influência nos mecanismos de perda dielétrica. Isso implica que a umidade na madeira, pode resultar em desaceleração, atenuação e dispersão das ondas eletromagnéticas. Se a espessura do elemento de madeira for conhecida, essas alterações podem ser utilizadas para localizar a presença de umidade e estimar a quantidade de água presente (Mariapaola Riggio, 2013).

O equipamento georradar é constituído por:

- a) **Unidade central:** é a parte central do sistema, onde o operador interage com o sistema. É responsável pela emissão dos impulsos magnéticos através das antenas, além de processar as

informações resultantes onde, posteriormente, facilita a sua visualização através de um monitor. Isso permite aos utilizadores optar entre representações de resultados por curvas, em que se determina a amplitude do sinal em cada instante, ou perfis de cor, onde diferentes faixas de amplitude são codificadas por cores previamente seleccionadas, como representado abaixo, ver figuras 2.20 e 2.21.



Legenda 2. 20 - À esquerda, representação de resultados por curvas; á direita, representação por cores.

Esta unidade permite ajustar a amplificação do sinal emitido, influenciando o tempo de propagação e a precisão dos resultados (Botelho, 2006);

- b) **Antena:** atuam como transdutor elétrico, convertendo os impulsos magnéticos provenientes da unidade central em ondas eletromagnéticas que se propagam através do meio, em intervalos de frequências bastante amplos, 10MHz a 1,5GHz. A escolha da antena a utilizar é determinada pela aplicação específica, sendo que, frequências mais elevadas proporcionam maior precisão e resolução, mas também resultam em maior atenuação do sinal e, portanto, menor penetração. Um exemplo de aplicação, são trabalhos de identificação de humidade ou diferentes materiais em parede, que exigem frequências mais elevadas embora o sinal se atenuar rapidamente poucos centímetros de profundidade.
- c) **Sistema de posicionamento:** os mais recentes equipamentos, têm a capacidade de integrar informações de posicionamento geoespacial, como GPS, para georreferenciar os dados coletados e criar mapas precisos das características subsuperficiais.
- d) **Fonte de alimentação:** o equipamento é normalmente alimentado por baterias recarregáveis ou fontes de energia externas, dependendo da necessidade de mobilidade e duração das operações.
- e) **Outros acessórios:** carrinho de transporte, cabos de conexão, odómetro eletrónico o que permite obter distâncias com grande precisão, conexão direta a impressora para impressão instantânea dos resultados.



Legenda 2. 21 - Modelo georadar – GP 8000.

2.5.3.3. Método das vibrações induzidas

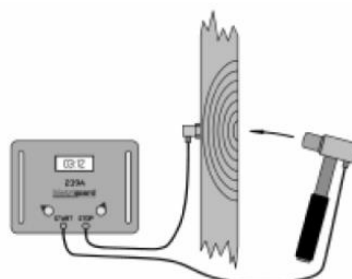
Tal como, a técnica de ultrassons, este método relaciona a velocidade de propagação de uma onda com o módulo de elasticidade e com a densidade, neste caso, provocada por um impacto através do qual a onda se propaga ao longo das fibras de madeira e é detetada em dois pontos: quando a onda atinge o primeiro acelerómetro é iniciado o tempo e quando atinge o segundo acelerómetro o contador para refletindo o tempo decorrido em microssegundos.

Este equipamento permite detetar podridões ou defeitos internos na madeira mediante a perda de velocidade de propagação de uma onda, comparativamente com madeira sã, concluindo-se, que, as ondas de choque se propagam mais rapidamente em madeira sã do que em madeira degradada.

Assim, este método tem diversas aplicações na inspeção de estruturas de madeira, na avaliação das suas características mecânicas, na sua classificação, no controlo de qualidade de produtos derivados de madeira e na deteção da degradação nas suas estruturas (F. Arriaga, 2002).

Entre os equipamentos disponíveis no mercado, que operam com base em vibrações induzidas, o METRIGUARD, destaca-se por ser altamente portátil e pela sua ampla aplicabilidade na inspeção de estruturas de madeira, sendo constituído por:

- a) **Unidade central:** responsável pelo processamento dos dados coletados pelos acelerómetros e pela sua disponibilização aos utilizadores. Está, assim, conectado aos acelerómetros e ao martelo de impacto.
- b) **Fonte de alimentação:** pilhas alcalinas (9V) ou energia elétrica.



Legenda 2. 22 - Componentes do aparelho METRIGUARD.

2.5.3.4. Métodos e equipamentos de ensaios - raios – X

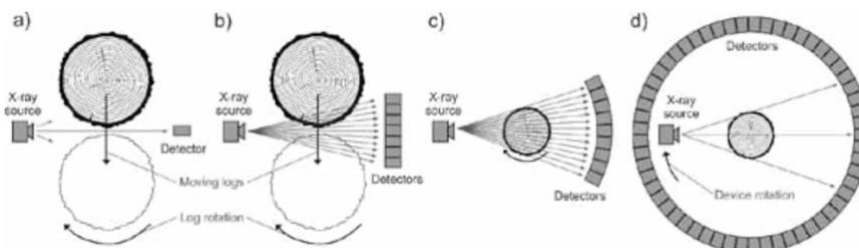
Na segunda metade da década de 1980, os métodos de raio-X estavam em fase de pesquisa e, quando desenvolvidos para uso da medicina, foram transferidos para a indústria de processamento de madeira (Vojtěch Ondrejka, 2021).

Este método consiste na transmissão de energia radiográfica através do material, sob a forma de raios-X, criando uma imagem que revela a sua composição interna. A quantidade de radiação que atravessa o material, é influenciada pela sua densidade, resultando numa representação bidimensional da variação da densidade do elemento a ser inspecionado e, desta forma, é possível detetar defeitos internos da madeira, vazios e elementos, como conetores ou materiais diversos, sem causar interferência no funcionamento da estrutura.

Porém, devido ao seu alto custo e aos potenciais riscos associados à exposição das radiações, a radiografia por raios-X tem sido cada vez menos utilizada, sendo substituída progressivamente por raios gama ou radiografia digital, devido à sua utilização de radiações menos perigosas, custos mais baixos e, principalmente, pela sua capacidade de fornecer uma imagem em tempo real do objeto em análise, funcionando essencialmente como uma câmara.

Atualmente, existem quatro gerações de tecnologia scanner CT (tomografia computadorizada), que se diferenciam entre elas, essencialmente, pelo número de detetores de raios-X (Vojtěch Ondrejka, 2021), ver figura 2.23.

- a) **1ª geração:** os scanners usam um único detetor de raios-X. O feixe de raios-X passa através do objeto, medindo a intensidade do raio através de caminhos paralelos nesse objeto. É um sistema mais simples, mas, também, mais lento.
- b) **2ª geração:** utiliza um sistema detetor composto por múltiplos detetores de raios-X, tornando o sistema mais rápido e, por outro lado, coleta grandes quantidades desnecessárias de dados com ruído frequente.
- c) **3ª geração:** utiliza um conjunto de detetores com múltiplos detetores, geralmente colocados em arco. Trata-se de um sistema mais complexo para processamento de dados, mas são mais precisos. É um sistema dispendioso, não sendo apropriado de objetos menores, pelo que coleta informação desnecessária para a sua avaliação.
- d) **4ª geração:** esta geração possui um número superior de detetores colocados em círculo. Uma fonte de raios-X gira em torno do objeto e pode produzir imagens 3D muito precisas. Apresenta as mesmas desvantagens que a terceira geração, sendo, ainda, mais dispendiosa.

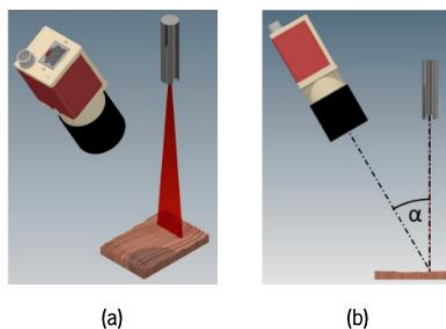


Legenda 2. 23 - Gerações de tecnologia scanner: a) 1ª geração; b) 2ª geração; c) 3ª geração; d) 4ª geração.

2.5.3.5. Método e equipamentos de ensaio - Laser e imagem

O laser foi utilizado pela primeira vez para medir amostras de madeira na década de 1980. Primeiramente, foram combinados o laser e a câmara para medir as dimensões do elemento e, mais tarde, a dispersão dinâmica do laser foi, também, utilizada para medir a orientação dos grãos e para tratar do uso de imagens 3D na detecção e localização automática de defeitos na superfície de madeira utilizando o método de triangulação a laser, ver figura 2.24.

Este método consiste em três pontos distintos que se posicionam de forma triangular, onde a fonte de luz, um equipamento com um sensor fotossensível e o objeto alvo, se posicionam em cada um dos vértices desse triângulo. O seu fundamento baseia-se na emissão de um feixe de luz normalmente na gama do laser ou infravermelho, na forma de ponto ou linha, que ao incidir na superfície do objeto é refletida e, posteriormente, observada pelo equipamento fotossensível (Saraiva, 2019). Ao ser emitida esta linha laser ou infravermelha o sistema analisará a sua deformação ao longo da superfície do objeto, sendo possível uma análise qualitativa da superfície da madeira.



Legenda 2. 24 - Sistema de triangulação a laser: a) conjunto dos três objetos constituintes: fonte de luz; sensor fotossensível; objeto alvo; b) representação da geometria triangular do sistema.

2.5.3.6. Métodos e equipamentos de ensaio - Detecção acústica de insetos xilófagos

Esta técnica visa a detecção da presença de insetos xilófagos dentro da madeira na fase inicial em que não existem sinais exteriores detetáveis, pela captação de ondas sonoras produzidas pela atividade dos insetos e, posteriormente, amplificadas para o domínio sonoro audível, ver figura 2.25.

A realização deste ensaio, capaz de detetar a atividade de insetos a uma distância até 2 metros, requer um dispositivo de detecção acústica, projetado para capturar frequências na faixa dos 100 a 2500Hz. Durante o teste, um sinal é transmitido a um módulo de receção que, por sua vez, limita essas frequências. Após a receção do sinal, ele é comparado com padrões pré-existent, obtidos em condições controladas (Ilha, 2021).

Este é um método com grande utilidade como complemento no tratamento contra térmitas, com o objetivo de detetar e controlar a sua atividade após o tratamento. Com base no volume e na característica do som emitido, é possível avaliar a gravidade do ataque e diferenciá-lo da atividade de outros organismos, por exemplo, roedores (F. Arriaga, 2002).



Legenda 2. 25 - Aparelho para deteção acústica de insetos xilófagos – FAKOPP TreeSonic Timer.

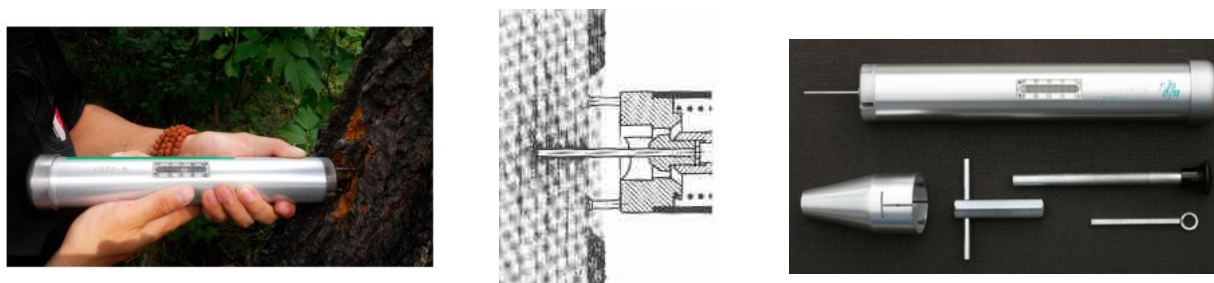
2.5.4. MÉTODOS LOCAIS DE ENSAIO

2.5.4.1. Medição da densidade superficial - Pilodyn

O pilodyn trata-se de um dispositivo de estimação da densidade superficial da madeira. Consiste num cilindro metálico com uma ponta que penetra na superfície do material, com 2,5mm de diâmetro, através da libertação de uma mola que transforma a energia potencial elástica em energia de impacto. medindo a profundidade de perfuração, ver figura 2.26.

Através deste ensaio, é medida a profundidade de perfuração correlacionando com a densidade e resistência de elementos de madeira degradados e são. Em 1987, Görlacher, encontrou fortes correlações ($R^2 = 0.74-0.92$) entre a densidade e a profundidade de perfuração, valorizando a necessidade de um número significativo de medições por amostra. Além disso, foram conduzidos estudos adicionais para estabelecer correlações com as propriedades mecânicas.

Este equipamento pode ser utilizado em diversas situações, incluindo a deteção prévia de doenças por meio de medições periódicas, a classificação da madeira em função da sua densidade em diferentes espécies, tal como, a sua resistência. Apesar de ser uma das técnicas menos invasivas, apenas se limita à avaliação da dureza ou resistência superficial, não conseguindo penetrar nas suas camadas médias, o que pode constituir uma desvantagem.



Legenda 2. 26 - Pilodyn 6J – equipamento de medição de densidade superficial.

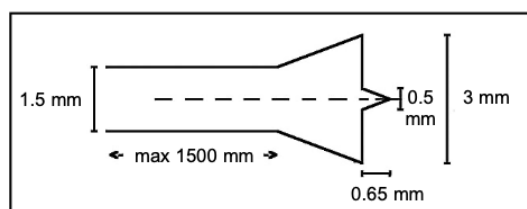
2.5.4.2. Resistograph

O resistograph consiste num método não destrutivo, particularmente interessante para aplicação em estruturas de madeira em serviço, com valor patrimonial. Isso deve-se ao facto de que as perfurações realizadas serem quase impercetíveis e não comprometerem a resistência mecânica da peça. Este método, através de variações de densidade, permite detetar defeitos/vazios internos, como também, determinar secções dos elementos estruturais, quando estas não podem ser medidas.

De acordo com Rinn et al. (1996), o resistograph é um equipamento equipado com uma agulha com cerca de 3mm de diâmetro, que avança a uma velocidade constante e avalia a resistência à penetração da mesma na peça. Essas variações de resistência resultam em mudanças de intensidade aplicadas na agulha e correspondem ao consumo de energia dispendida.

O modelo adotado no trabalho experimental desta dissertação foi o RESISTOGRAPH 4450-P da RINNTECH, com as seguintes características, ver figura 2.27, 2.28, 2.29.

- a) Velocidade de perfuração constante até 40cm/min;
- b) Resolução de 0,1mm;
- c) Profundidade máxima de perfuração de 440mm;
- d) Dimensão do equipamento de perfuração 650mm.



Legenda 2. 27 - Esquema representativo da agulha de perfuração do resistograph (L. Acuña, 2011).

Legenda 2. 28 - Resistograph 4450.

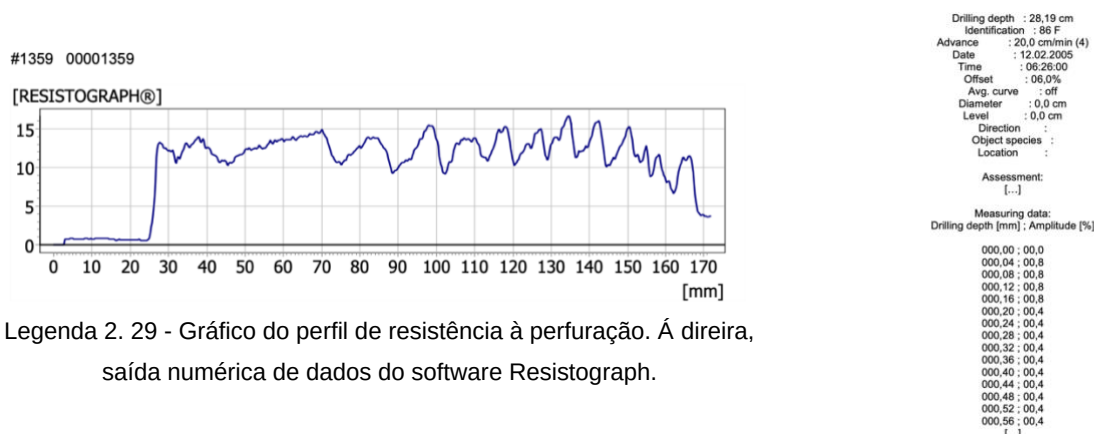
Utilizando sensores mecânicos e eletrônicos, a medição fornecida pelo resistograph é denominada de “amplitude” e expressa em percentagem (%). Essa amplitude indica o consumo energético necessário para a agulha vencer a resistência à perfuração na madeira em comparação com um valor referência do aparelho.

O resultado do ensaio é fornecido em função do perfil de perfuração através de um gráfico à escala da peça (1:1), permitindo, assim, identificar áreas na madeira com variações anormais na densidade, como fendas ou degradação biológica causada por agentes xilófagos e, indiretamente avaliar a capacidade estrutural da madeira.

Dependendo da sua espécie, a zona de madeira pertencente ao lenho de primavera ou lenho inicial dos anéis de crescimento, é sensivelmente menos densa que aquela formada no lenho de outono ou lenho final. Por esse motivo, é perceptível através do gráfico do perfil de perfuração, uma sucessão de vales, correspondentes às diferentes dificuldades de penetração dessas áreas (L. Acuña, 2011).

Estes resultados são gravados na memória da unidade central de controlo e podem ser, posteriormente, analisados pelo software DECOM, que permite o tratamento estatístico de dados e a obtenção de valores numéricos, correlacionáveis com as propriedades mecânicas da madeira, como a sua densidade (ρ), módulo de elasticidade do (E_0) e o módulo de rotura na direção do fio (f_m).

Vários autores, realizaram estudos no sentido de correlacionar os valores do Resistograph com os valores das propriedades obtidos por ensaios mecânicos destrutivos (E_0 e f_m). Arriaga, (F. Arriaga, 2002), estabeleceu ser possível alcançar um coeficiente de determinação $R^2 = 0,8$, entre os valores de Resistograph e a densidade, para a madeira seca.



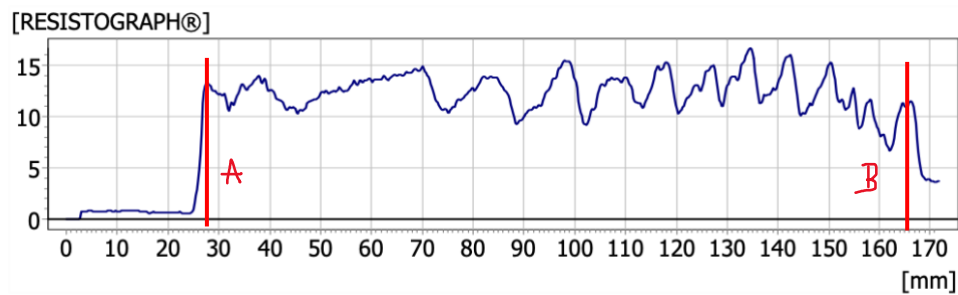
Legenda 2. 29 - Gráfico do perfil de resistência à perfuração. À direita, saída numérica de dados do software Resistograph.

RESULTADOS DO RESISTOGRAPH – VALOR DE RESISTOGRAPH

O resistograph é capaz de gerar dados numéricos, em intervalos de valores de 0,1 mm, que podem ser importados para programas de cálculo como o Microsoft Excel. Posteriormente, esses dados permitem a criação de um gráfico matemático que pode ser tratado estatisticamente.

O tratamento inclui a remoção do intervalo de análise, cerca de 15% dos valores obtidos, pelo que não representam um funcionamento estável, excluindo assim, os pontos em que se atinge o valor máximo da curva inicial e os últimos valores máximos da curva descendente, que correspondem aos cerca de 2 cm iniciais e finais de perfuração, respetivamente.

Este método apresenta limitações, nomeadamente relacionados com a dificuldade em realizar ensaios devido à sua secção transversal estar, possivelmente, oculta e à dificuldade em posicionar o dispositivo perpendicularmente ao elemento, tendo de se considerar um valor médio. Assim, procede-se à determinação de um valor médio, chamado de **Valor de Resistograph (VR)**, representativo da resistência global de perfuração da peça, ver figura 2.30.



Legenda 2. 30 - Valores iniciais (A) e finais (B) do intervalo em que se admite um funcionamento estável do Resistograph.

Este valor de resistograph médio ($VR_{\text{médio}}$) é calculado através da seguinte expressão:

$$VR_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^N Ri}{N} \quad (4)$$

$$N = \frac{B - A}{0.1}$$

em que, Ri , corresponde à resistência de perfuração, para cada intervalo de valores de 0,1 mm.

Para obter informações quantitativas da inspeção deste método, é crucial estabelecer uma correlação numérica específica para cada espécie de madeira.

A norma europeia EN 408, especifica métodos de ensaio para determinar propriedade mecânicas da madeira, tais como o módulo de elasticidade, E_0 , e o módulo de rotura, f_m . Nesse sentido, vários autores estabeleceram expressões de correlação entre o valor das propriedades mecânicas inferidas através dos métodos de ensaio e os valores obtidos do Resistograph, para a mesma espécie. Essas expressões apresentadas na tabela abaixo, direcionam-se para espécie de madeira do estudo de caso deste trabalho, ver tabela 2.8.

Tabela 2. 8 - Expressões de correlação entre o $VR_{\text{médio}}$ e algumas das principais propriedades mecânicas de elementos de madeira (adaptado de (Botelho, 2006)).

Expressão	R^2	Espécie	Nº peças ensaiadas	Autor
$VR_{\text{medio}} = 2.07 \cdot \rho - 1005.2$	71,00%	Castanea Sativa Mill. (novo)	47	Feio et al. (2005)
$VR_{\text{medio}} = 16.82 \cdot EC, O + 126.0$	64,00%	Castanea Sativa Mill. (novo)	47	Feio et al. (2005)
$VR_{\text{medio}} = 2.6 \cdot f_{c,0} + 212.1$	59.0 %	Castanea Sativa Mill. (novo)	47	Feio et al. (2005)

(Botelho, 2006), destaca algumas desvantagens deste método, especialmente no que diz respeito ao tempo despendido para tratamento de dados e cálculo estatístico. Para além disso, para garantir a confiabilidade dos resultados, é necessário realizar um mínimo de 30 ensaios por peça pois, se o número de ensaios for reduzido, deduzir valores quantitativos a partir dos dados recolhidos pode comprometer os resultados obtidos.

2.5.5. EFICIÊNCIA E APLICABILIDADE DOS MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS

Diversas técnicas não destrutivas são empregadas na inspeção e avaliação mecânica de estruturas de madeira, cada uma com as suas vantagens e limitações específicas. Assim, criou-se uma tabela, que é adequada para uma comparação clara de métodos individuais, indicando o nível de custos de aquisição de tecnologia, nível de aplicação, segurança e adequação para identificar recursos adequados, ver tabela 2.9.

Tabela 2. 9 - Aplicabilidade dos métodos não destrutivos.

	Métodos acústicos e ultra-sónicos	Frequências de radiação eletromagnética	Raios - X	Laser	Registograph	Inspeção visual
Custo	++	+	-	++	+	+++
Aplicabilidade	+	+	+	+++	++	+++
Segurança	+++	++	-	-	+++	+++
Desempenho						
3D-shape	-	-	+++	+++	-	+++
Podridão e decadência	++	-	+++	-	++	-
Defeitos de cor	-	-	-	-	-	++
Compressão e tensão da madeira	+	+	+++	-	+	+
Fendas e rachaduras	++	+	++	-	++	+
Bolsos de resina	-	+	++	-	-	++
Objetos estranhos	+	++	+++	-	+	-
Nós	-	++	+++	-	-	+
Densidade	++	++	+++	-	+++	++
Força	+	+	+++	++	+	++
Largura anual do anel	-	-	+	-	+	+++
Orientação de grãos	-	+	++	+++	-	+
Teor de humidade	-	+	++	-	+	-
Conteúdo da casca	-	-	+++	++	-	+++
Inclinação do fio	+	-	-	-	-	-

Pode-se deduzir da tabela que o método de raios-X é o mais adequado para a avaliação da maioria dos parâmetros podendo detetar defeitos internos com alta precisão, ainda que, devido aos seus preços elevados sejam o menos difundido e utilizado.

Também, os lasers e os métodos acústicos, são considerados adequados para avaliação da madeira e permitem uma avaliação rápida das propriedades da madeira. Porém, as possibilidades destas tecnologias limitam-se principalmente aos defeitos superficiais, à exceção dos acústicos.

Os dispositivos, Pilodyn e Resistograph, são frequentemente os mais utilizados na Europa Central. A combinação de eficiência e precisão na avaliação da qualidade da madeira, padronização, compatibilidade com as normas locais e uma relação custo-benefício atraente, faz com que estes dispositivos sejam uma escolha corrente entre os profissionais envolvidos.

O uso dessas técnicas permite obter informações valiosas, principalmente qualitativas, para avaliar estruturas de madeira in situ. No entanto, é necessário correlacionar e complementar essas técnicas com métodos tradicionais de inspeção, como a classificação visual, para aumentar a confiabilidade e segurança da avaliação.

Portanto, a melhoria das metodologias de classificação resistente de estruturas de madeira requer uma abordagem adequada, que combine o objetivo da inspeção com a técnica não destrutiva, visando a eficácia da avaliação estrutural. No quadro abaixo, pretende-se essa síntese, como também, apresenta as medições e propriedades a serem estimadas, ver tabela 2.10.

Tabela 2. 10 - Síntese das técnicas não destrutivas de ensaio.

Objetivo da inspeção	Técnica não destrutiva	Medição efetuada	Propriedades a estimar
Identificação da espécie de madeira	Inspeção visual	Avaliação visual de defeitos e massa volumica	Em,0 ; Fm
	Análise laboratorial		
Identificação do tipo de degradação biológica	Inspeção visual Detecção acústica	Detecção das atividades dos insetos através da frequência transmitida	f
Detecção da extensão do tipo de degradação biológica	Meios tradicionais (martelo, formão, etc)	Avaliação da resistência	ρ
	Registograph	Avaliação da resistência à perfuração	ρ
	Raios-X	Absorção da radiação	ρ
	Método das vibrações induzidas	Frequência de ressonância	Em,0
	Georadar	Propagação de ondas eletromagnéticas	ϵ'
	Sylvatest	Propagação de ondas de choque	Em,0,dyn
Classes de qualidade	Inspeção visual	Avaliação visual de defeitos e massa volumica	ρ
	Sylvatest	Propagação de ondas de choque	Em,0,dyn
	Georadar	Propagação de ondas eletromagnéticas	ϵ'
	Raios-X	Absorção da radiação	ρ
Teor de água	Humedímetro	Condutividade elétrica	%
	Raios-X (de forma indireta)	Absorção da radiação	ρ
	Georadar (de forma indireta)	Propagação de ondas eletromagnéticas	ϵ'
	Sylvatest	Propagação de ondas de choque	Em,0,dyn
Detecção de defeitos localizados	Registograph	Avaliação da resistência à perfuração	ρ
	Raios-X	Absorção da radiação	ρ
	Método das vibrações induzidas	Frequência de ressonância	Em,0
Determinação do módulo de elasticidade	Sylvatest	Propagação de ondas de choque	Em,0,dyn
	Registograph	Avaliação da resistência à perfuração	ρ
	Método das vibrações induzidas	Frequência de ressonância	Em,0
Determinação da massa volumica	Registograph	Avaliação da resistência à perfuração	ρ
Determinação da densidade superficial	Pylofin	Avaliação da resistência ao impacto	Dureza e Fc,90

2.5.5.1. Ultrassons

Vantagens:

- Trata-se de um método eficaz na determinação do módulo de elasticidade através da correlação deste parâmetro com a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas no sentido longitudinal, sendo possível inferir as propriedades mecânicas de elementos de madeira;
- Permite obter um perfil de variação das propriedades mecânicas ao longo do desenvolvimento dos elementos de madeira;
- Permite a detecção de descontinuidades internas ou defeitos do material, como nós, inclinação do fio, fendas e degradação biológica, através da alteração da velocidade de propagação de ondas;
- Permite avaliar a capacidade resistente de elementos de madeira onde o acesso é restrito a apenas uma face;
- Os testes de ultrassons são, geralmente, rápidos e eficazes, permitindo a avaliação de grandes volumes de elementos num curto espaço de tempo, o que se torna útil em ambientes industriais ou de construção;
- Constitui um método versátil, podendo ser adaptado para diferentes tipos de madeira, desde a avaliação de peças de madeira maciça até à avaliação de produtos laminados ou compensados;

- g) Os equipamentos de ultrassons são facilmente transportados e de fácil manuseio, o que os torna ideais para locais de difícil acesso.

Desvantagens/limitações:

- a) Este método apresenta limitações na deteção de defeitos pequenos ou superficiais na madeira;
- b) A velocidade de propagação das ondas é influenciada por fatores como a humidade e a temperatura, o que pode resultar em leituras imprecisas;
- c) Para conseguir correlacionar a velocidade de propagação das ondas com o módulo de elasticidade, é necessário obter, através da inspeção visual, o conhecimento da espécie e densidade do elemento a avaliar. Caso contrário, é necessário proceder à extração de provetes para análise laboratorial;
- d) O coeficiente de correlação para o módulo de rotura é significativamente mais baixo, não sendo um método adequado para estimar o seu valor, dado que pode ser muito condicionado pela presença de defeitos localizados que, por sua vez, podem ter pouco reflexo na velocidade de propagação das ondas.

2.5.5.2. Georradar

Vantagens:

- a) O georradar tem a capacidade de identificar com precisão defeitos internos, como nós, rachaduras, pregos de metal que normalmente não são visíveis e diferentes materiais;
- b) Este método tem a capacidade de fornecer em tempo real imagens da composição interna do elemento, facilitando a visualização e interpretação de resultados;
- c) Apresenta vantagens como a velocidade de digitalização, a boa repetibilidade e a capacidade de detetar a humidade da madeira.

Desvantagens/limitações:

- a) É um método que apresenta complexidade no processamento de dados devido aos algoritmos de avaliação ainda estarem em desenvolvimento, constituindo uma limitação à sua utilização, devendo, apenas, ser considerado em casos que a importância arquitetónica o justifique;
- b) Esta metodologia permite alcançar conclusões principalmente qualitativas, sendo essencial conduzir estudo que produzem resultados quantitativos, passíveis de se correlacionarem estatisticamente com outros métodos de inspeção (Botelho, 2006);
- c) A humidade pode ter influência nos resultados do georradar, alterando a velocidade de propagação das suas ondas e interferindo nas imagens produzidas.

2.5.5.3. Método das vibrações induzidas

Vantagens:

- a) Permite detetar podridões ou defeitos internos na madeira mediante a perda de velocidade de propagação de uma onda, comparativamente com madeira sã;

- b) Trata-se de um método de avaliação versátil, permitindo a avaliação desde peças de madeira maciça até à deteção de defeitos em produtos laminados ou compensados;
- c) Facilidade de utilização.

Desvantagens/limitações:

- a) A apresenta limitações na deteção de defeitos superficiais na madeira;
- b) Método bastante sensível à variação da orientação do fio;
- c) É um método que pode ser sensível a interferências externas, como ruídos de fundo ou vibrações ambientais, que podem afetar a precisão dos resultados;
- d) Nem sempre é possível aplicar este método a estruturas em serviço, já que ambas as faces necessitam se encontrar acessíveis. Para além disso, é desafiador aplicar o método em medições longitudinais já que, normalmente, as extremidades das vigas se encontram inacessíveis (Botelho, 2006).

2.5.5.4. Métodos raios-X

Vantagens:

- a) Este método permite a deteção de defeitos internos, como nós, rachaduras, podridão, insetos ou objetos estranhos;
- b) A técnica de raios-X proporciona imagens de alta resolução, sob a forma de registos radiográficos bidimensionais, no caso dos raios-X, e registos radiográficos em tempo real, no caso da radiografia digital, permitindo a identificação precisa de defeitos localizados;
- c) A técnica de métodos raios-X é, geralmente, rápida e eficaz, permitindo a avaliação de grandes volumes de elementos num curto espaço de tempo, o que se torna útil em ambientes industriais ou de construção;

Desvantagens/limitações:

- a) A exposição prolongada aos raios-X pode representar um risco para a saúde os operários da inspeção e meio ambiente. É necessário seguir, diretrizes de segurança rigorosas para minimizar esse risco;
- b) É necessário aceder à totalidade da peça e posicioná-la de forma que os raios-X consigam penetrar toda a sua área, o que pode constituir uma limitação ao uso desta técnica;
- c) A implementação de sistemas de raios-X tem um custo elevado.
- d) Ainda é necessária mais investigação acerca dos resultados quantitativos fornecidos por este método, no que respeita à avaliação do estado de degradação das peças de madeira.

2.5.5.5. Método de laser e imagem

Vantagens:

- a) O método de laser e imagem permite tanto a deteção de defeitos superficiais como internos, fornecendo uma avaliação abrangente da qualidade do elemento de madeira;

- b) Usa imagens 3D de alta resolução, permitindo uma análise mais detalhada e mais precisa;
- c) Tem boa aplicabilidade na determinação da orientação dos grãos da madeira.

Desvantagens/limitações:

- a) É um método que apresenta limitações na detecção de defeitos internos complexos, como fissuras ou insetos, tornando-se mais indicado para detecção de defeitos na sua superfície;
- b) A qualidade dos resultados obtidos pode ser influenciada por fatores como iluminação inadequada, variações na humidade ou na temperatura;

2.5.5.6. Detecção acústica de insetos xilófagos

Vantagens:

- a) Permite a identificação do tipo de degradação biológica e da sua extensão, quando ainda não é visível no exterior do elemento de madeira;
- b) O método permite a localização precisa das áreas afetadas no interior da madeira;
- c) Os sistemas de detecção acústica podem fornecer monitoramento contínuo da atividade de insetos xilófagos, ao longo do tempo, permitindo uma gestão preventiva de infestações;
- d) Requer equipamentos simples e não consome muitos recursos, tendo um custo operacional mais baixo, comparativamente, com outros métodos de avaliação não destrutiva.

Desvantagens/limitações:

- a) Embora a detecção de insetos xilófagos seja uma questão essencial da inspeção da madeira, é um método que não avalia a capacidade resistente da mesma e, da mesma forma, não fornece informação em relação à secção residual das peças;
- b) A eficácia da detecção acústica pode ser afetada por condições ambientais, como ruído de fundo, temperatura e humidade.

2.5.5.7. Medição da densidade superficial – Pylodin

Vantagens:

- a) Trata-se de um método muito eficaz na detecção de defeitos superficiais, como rachaduras e nós que podem afetar a qualidade e resistência do elemento de madeira;
- b) O equipamento é relativamente fácil de implementar, o que permite que seja amplamente utilizado;

Desvantagens/limitações:

- a) Apenas se limita à avaliação da dureza ou resistência superficial, não conseguindo penetrar nas suas camadas médias;
- b) Não garante correlações significativas com a resistência mecânica da madeira;
- c) Apresenta sensibilidade à variação da superfície, como texturas irregulares, presença de ruídos de acabamentos, etc, que pode levar a medições imprecisas.

2.5.5.8. Resistograph

Vantagens:

- a) Este método é eficaz na detecção de defeitos internos/podridões/vazios, não detetáveis através da inspeção visual;
- b) O resistograph fornece medições precisas da variação da resistência à perfuração ao longo do seu perfil radial, permitindo uma avaliação detalhada;
- c) Fornece um registo desenhado da variação da resistência à perfuração, à escala 1/1, de fácil interpretação;
- d) Possibilidade de avaliar o estado de conservação de elementos estruturais que não se encontrem totalmente expostos.

Desvantagens/limitações:

- a) O desempenho do Resistograph pode ser influenciado por condições ambientais, nomeadamente, pela humidade e temperatura que têm grande influência nos valores de densidade obtidos, pelo que, a resistência à penetração diminui com o aumento do teor de humidade;
- b) O resistograph pode ser incapaz de distinguir diferentes materiais presentes na madeira;
- c) A interpretação dos dados fornecidos pelo resistograph pode exigir conhecimento técnico, de forma ao técnico ser capaz de identificar determinados aspetos de saída de dados, como anéis de crescimento e zonas de lenho inicial e final, distinção entre medições radiais e tangenciais, identificação de defeitos, etc;
- d) É um método que implica algum dispêndio de tempo no tratamento estatístico de dados, dado que, a sua utilização deverá ser considerada em função da natureza e importância da intervenção a realizar.

3

CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.1. OBJETO

O presente capítulo aborda, numa primeira parte, a caracterização e tipificação construtiva de edifícios antigos que foram construídos antes da generalização da aplicação das estruturas de betão armado que começou a popularizar após a segunda guerra mundial. Neste grupo de edifícios estão incluídos 3 categorias de edifícios (Freitas, 2012) :

- a) Património monumental, estes edifícios que possuem um valor cultural, histórico ou arquitetónico significativo, são reconhecidos como monumentos.
- b) Património edificado classificado, estes edifícios foram oficialmente reconhecidos e classificados como tendo um valor cultural ou histórico específico.
- c) Património edificado corrente, em que a pedra, a madeira, a cal e o vidro são materiais predominantes. Estes edifícios são de importância arquitetónica, cultural ou histórica para a comunidade em que estão localizados. Alguns destes edifícios podem ser considerados para inclusão em listas de património edificado classificado.

Assim, pretende-se a tipificação dos principais elementos da construção referentes ao património edificado corrente, em que se enquadra o sistema construtivo das habitações do Porto, designado por Casa Burguesa do Porto. Esta síntese deverá proporcionar uma reflexão sobre o entendimento da sua arquitetura, salientando os principais elementos que constituem aspetos técnicos da construção, entre eles, as fundações, paredes exteriores, sobrados, cobertura, paredes interiores, escadas, caixilharias interiores, caixilharias exteriores e instalações. Posteriormente, a identificação das principais preocupações construtivas dos elementos constituintes.

Numa segunda parte, a caracterização do edifício em estudo, que se subdivide em caracterização construtiva e em caracterização funcional.

3.2. CASA BURGUESA DO PORTO

Na cidade do Porto, em que o seu centro histórico é espontaneamente reconhecível pela sua construção tradicional, esta assume diversas formas, variando de acordo com as épocas, estilos e contextos geográficos e socioculturais em que se desenvolve. Deste modo e restringindo todo o sistema construtivo do restante território nacional, debruçar-nos-emos apenas sobre a cidade do Porto do final do século XIX até aos inícios do século XX.

3.2.1. MATERIAIS UTILIZADOS

De um modo geral, a casa burguesa do porto, tal como o nome sugere, refere-se às habitações familiares burguesas da cidade do Porto. Nesta época, a construção tradicional define-se pelas técnicas e materiais tradicionais de manuseamento simples e espelhavam-se sobre o uso da pedra, madeira, cal, telhas cerâmicas, azulejo e ferro forjado. Conjugando essas técnicas e materiais, criavam-se as famosas fachadas decoradas com azulejos, as grandes portas e janelas, as varandas e sacadas ornamentadas e os conhecidos telhados inclinados em telha cerâmica.

3.2.1.1. Pedra

A pedra era um material muito utilizado nas paredes exteriores, tanto nas paredes de fachada como de meação. Além disso, era frequentemente utilizada para elementos de cantaria, lancis e elementos decorativos.

Tendo em conta a localização da casa burguesa do Porto, devido à sua abundância na região, a pedra de granito azul era a mais utilizada para construção e, devido à sua elevada resistência, especialmente adequado para elementos estruturais de alvenaria.

3.2.1.2. Madeira

Por várias razões, a madeira foi o material predominante na construção de edifícios antigos, incluindo a sua capacidade para resistir à tração, para além do ferro. Comparadas às construções de alvenaria de pedra, as estruturas de madeira oferecem algumas vantagens, como serem, mais leves, deformáveis e económicas. Por outro lado, a maior suscetibilidade à combustão e menor durabilidade, constituem algumas desvantagens.

As madeiras mais utilizadas nas construções tradicionais do Porto eram provenientes das regiões do centro de Portugal, especialmente do Pinhal de Leiria.

Nas coberturas, a madeira preferencial era o Carvalho, devido à alta resistência à humidade. Um dos elementos fundamentais de madeira nestas construções é o tronco, feito de Castanho, Carvalho e Pinho de riga (pau rolado). Este tronco de madeira, era geralmente usado para a estrutura do vigamento do sobrado, estrutura das escadas interiores e estrutura das coberturas. Para além disso, era utilizado o Pinho nacional, para as estruturas e revestimentos dos tabiques, soalho e caixilharias interiores e exteriores.

3.2.1.3. Gesso

O gesso é o material usado para a composição das argamassas dos trabalhos em estuque, para acabamentos interiores ou em momentos decorativos, como os tetos trabalhados característicos da casa burguesa do Porto. É um material que deve ser utilizado em locais secos, devido à sua suscetibilidade para alterar com a humidade, perdendo dureza.

3.2.1.4. Argamassas

As argamassas são particularmente utilizadas no assentamento e revestimento de alvenaria, desempenhando um papel crucial na proteção das superfícies contribuindo para a expressão estética dos edifícios. Esta argamassa resulta da mistura entre um inerte, usualmente pó ou areia, um ligante, como

cal, gesso, argila ou cimento, e água para a junção dos elementos e criar a pastas. A argamassa à base de cal, era particularmente utilizada nas casas tradicionais do Porto, pela sua compatibilidade com todos os tipos de alvenaria e adquirirem uma dureza que garante a sua solidez ao longo dos séculos.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO ARQUITETÓNICA

As casas burguesas, geralmente, estavam localizadas em áreas urbanas privilegiadas, com acesso aos centros comerciais e culturais. No século XIX, a linguagem arquitetónica destas casas era influenciada pelo estilo neopalladiano, exibindo uma arquitetura simétrica, com fachadas ornamentadas e detalhes decorativos inspirados na arquitetura clássica.

Esta época é caracterizada pelo aumento do pé direito dos pisos e organização dos logradouros com jardins e hortas. Para as dimensões dos lotes, tem-se como valor de referência: 5,5 a 6m para a largura a 20m de comprimento.

Relativamente à disposição interna da casa burguesa do porto, esta organiza-se de forma a separar as áreas públicas das privadas, com os andares inferiores destinados às atividades sociais e comerciais, enquanto os superiores eram reservados para os seus habitantes. Na cave sobrelevada, situam-se as zonas de serviço e armazenagem; rés do chão destina-se à cozinha (situada nas traseiras) e os restantes compartimentos destinados a ocupação social; os pisos superiores destinam-se a quartos e no andar recuado, ou sótão com águas-furtadas, situam-se os quartos da criadagem. A comunicação entre os pisos é feita através da caixa de escadas central e transversal, que se desenvolve em dois ou três lanços e é iluminada por uma claraboia, que também serve de fonte de luz a outros compartimentos interiores (Teixeira, 2004).

3.2.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA E ESTRUTURAL

A estrutura principal da casa é composta por três elementos principais: as paredes de meação, a estrutura dos sobrados e a estrutura da cobertura. As paredes de meação, normalmente feitas de alvenaria de pedra de granito, ou nos exemplos mais antigos em tabique misto (estrutura de madeira preenchida por pedra miúda ou tijolo maciço). A estrutura dos sobrados e da cobertura é feita de vigas de madeira, geralmente de castanho, pinho da região ou, em casos mais dispendiosos, de pinho nórdico.

A estrutura secundária é constituída pelas paredes de fachada, que podem ser de alvenaria de granito, com predominância de pedras em forma de lancis (correspondentes às ombreiras, vergas e parapeitos das aberturas e elementos decorativos) ou, no caso de pisos acrescentados, de tabique misto ou simples. As paredes interiores de compartimentação e da caixa de escadas, são constituídas por tabique simples ou tabique simples reforçado. A estrutura secundária é também constituída pela estrutura da caixa de escadas, da claraboia e pelas estruturas das águas-furtadas ou outros elementos de menor dimensão que adornam as coberturas (Teixeira, 2004).

3.2.3.1. Fundações

As fundações das casas tradicionais do norte de Portugal, são executadas em alvenaria de pedra, geralmente constituída por travadouros ou perpianho, colocadas transversalmente ao longo de toda a espessura da parede cooperando para uma estrutura mais sólida e estável.

A espessura das paredes de fundações, aumentam de espessura de modo a garantir a descarga eficaz dos esforços sobre o terreno. A largura e profundidade das fundações, depende da qualidade do terreno em que se implanta o edifício, ver figura 3.1. Em várias zonas da cidade do Porto, as fundações podem atingir profundidades muito reduzidas, quando se encontram sobre afloramento rochosos e, quando o terreno é de baixa compacidade e resistência (proximidade a cursos de água), as fundações assentam sobre estacaria de madeira (pranchões) (Freitas, 2012).



Legenda 3. 1 - Pormenor de pavimento térreo.

3.2.3.2. Paredes exteriores

As paredes da fachada de pedra, geralmente, de grande espessura, pelo facto de serem autoportantes e de grande parte da sua superfície conter aberturas, contribuem para o travamento das paredes de meação e, consequentemente, para a continuidade das paredes exteriores. Estas paredes suportam uma parte da estrutura da cobertura correspondente às tacaniças ainda que, geralmente, não sirvam de suporte ao vigamento dos sobrados.

As paredes da fachada de tardo, a partir do séc. XIX, são caracterizadas pelas amplas varandas sustentadas por cachorros de grandes dimensões, fornecendo acesso aos sanitários que aí se localizavam. Essas varandas eram frequentemente fechadas por marquises em estrutura de madeira, semelhantes às paredes de tabique simples reforçado.

Quando ao revestimento, pelo interior, as paredes são emboçadas e regularizadas com argamassa de cal, areia e saibro, com acabamento a estuque e pintura. Pelo exterior, com rebocos à base de argamassas de saibro, areia e cal, com acabamento estucado e pintado. A partir de meados do séc. XIX, o azulejo tornou-se o revestimento predominante nas fachadas das casas do Porto, devido ao aprimoramento na fabricação e à sua durabilidade. A sua popularidade decorre da baixa necessidade de manutenção, além da sua função como primeira camada impermeabilizante, oferecendo também um espeto estético inegável.

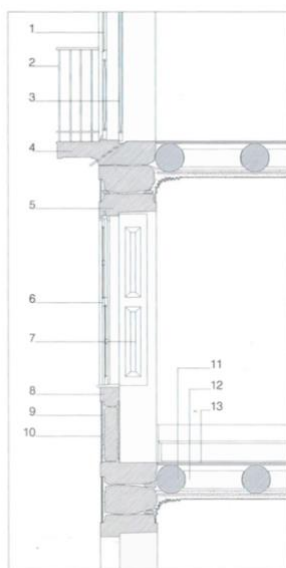
Nos pisos acrescentados, numa construção mais antiga, sobre as paredes de meação e de fachada, era comum encontrar paredes constituídas de tabique misto, ver figura 3.2. A partir de meados do séc. XVIII, deparamo-nos principalmente com dois estilos de parede de fachada em tabique: paredes em tabique simples e paredes em tabique reforçado.

As estruturas das paredes de tabique simples, substitui o preenchimento de pedra miúda ou tijolo presente nas paredes de tabique misto por um duplo tabuado de madeira. Estas paredes, são constituídas por uma estrutura de barrotes de secção quadrangular, com 7cm de largura, formada por elementos verticais – prumos, espaçados aproximadamente de 1m e são diretamente apoiados no vigamento do piso, ou em um frechal quando se encontram alinhados com uma parede de pedra. A estrutura de barrotes, encontra-se preenchida por duplo tabuado com cerca de 2cm de espessura, dispostas na vertical e na diagonal. Sobre esse tabuado, é fixado pelo interior um fasquiado que serve de ancoragem ao reboco, e um ripado externo para suporte de revestimentos (Freitas, 2012).

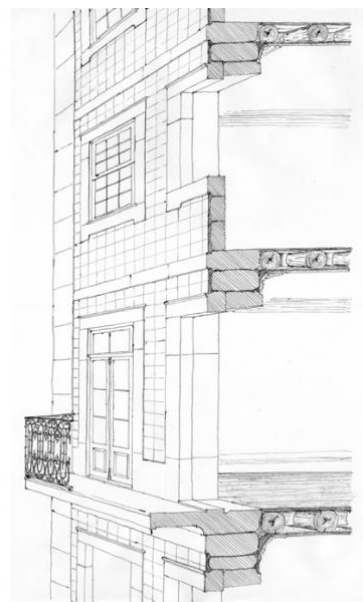
A estrutura dessas paredes é complementada por um frechal superior, além de travessas e vergas, quando é necessário definir vãos. As ligações entre as peças são feitas, geralmente, através da união a meia madeira.

As estruturas das paredes de tabique simples reforçado à semelhança das estruturas das paredes de tabique misto, são constituídas por uma estrutura em forma de gaiola, formada por barrotes de secção retangular, 7cm de espessura, dispostos em forma de prumos, frechais, travessanhos, vergas e escoras. Seguindo o mesmo processo construtivo que o anterior, ambas as faces são revestidas por um tabuado de aproximadamente 2cm de espessura. O interior pode ser preenchido com restos de madeira, cortiça ou até mesmo folhas de jornal, proporcionando algum isolamento térmico. O revestimento do tabuado é feito tanto no interior quando no exterior, seguindo o mesmo método que as paredes de tabique simples.

Nos casos em que são adicionados posteriormente pisos recuados, é comum que todas as paredes sejam construídas em tabique simples reforçado, incluindo paredes de meação.



1. Janela de sacada; 2. Guarda metálica; 3. Portada interior; 4. Lançol de sacada; 5. Lançol de padieira; 6. Janela de peito; 7. Portada interior; 8. Lançol de parapeito; 9. Reboco; 10. Azulejo; 11. Vigamento principal; 12. Tarugo; 13. Soalho.

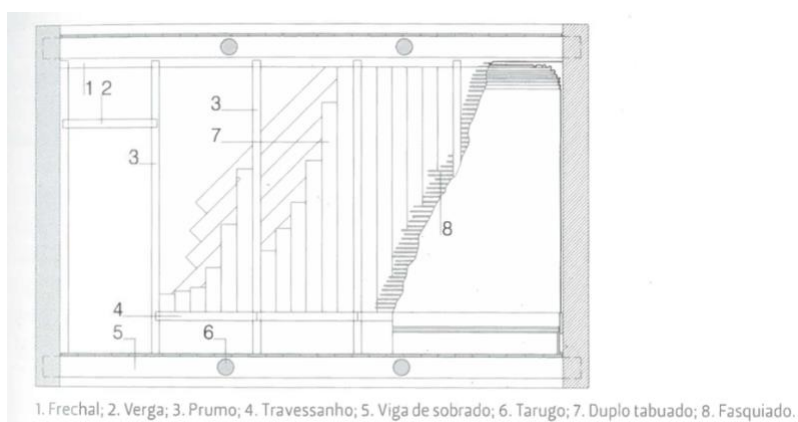


Legenda 3. 2 - Corte transversal de uma fachada, abrangendo piso com janela de peito e piso com janela de sacada.

3.2.3.3. Paredes interiores

Considera-se paredes interiores de compartimentação, todas as paredes divisórias de tabique, à exceção das paredes de tabique da caixa de escadas. A localização das paredes da caixa de escadas encontra-se restrita aos espaços de acesso vertical, servindo de suporte para a estrutura das escadas. Por outro lado, as paredes divisórias podiam ser instaladas na fase de acabamentos, dependendo apenas da modulação do vigamento.

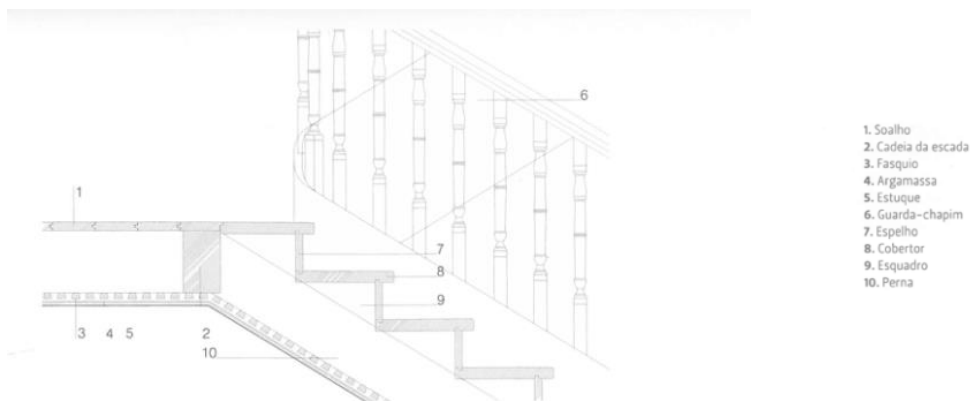
A estrutura das paredes de compartimentação é constituída por uma estrutura de barrotes, com 7cm de espessura, semelhante às paredes de tabique referidas anteriormente, dispostos em forma de frechais, prumos e vergas, preenchidos com um tabuado de 4 a 5cm de espessura. Em ambas as faces é fixado um fasquiado, até à altura do rodapé, onde é colocado o revestimento de reboco e acabamento em estuque, ver figura 3.3.



Legenda 3. 3 - Pormenor parede de compartimentação.

A estrutura das paredes da caixa de escadas é semelhante às paredes em tabique simples com duplo tabuado. É principalmente constituída por prumos, vergas e travessanhos. Os prumos, que se apoiam diretamente nas vigas da estrutura dos pisos, estão posicionados nas transições com as paredes de alvenaria. As vergas e travessanhos, contribuem para o apoio dos patamares intermédios das escadas e na definição de vãos. O duplo tabuado, disposto na vertical e na diagonal, reforça a estrutura para sustentar a estrutura no apoio aos patamares das escadas e garantir a continuidade do revestimento da parede entre pisos.

Por sua vez, a caixa de escadas, é um importante espaço interior, geralmente de dois ou três lanços, com um ou dois patamares intermédios, iluminados por uma claraboia de grandes dimensões que fornece luz natural e ventilação aos espaços interiores, ver legenda 3.4.



Legenda 3. 4 - Pormenor de escadas interiores.

3.2.3.4. Sobrados

A estrutura dos sobrados é constituída por troncos de madeira ou paus rolados que, a partir do séc. XIX foi progressivamente substituída por vigas de madeira esquadriada. O vigamento encontra-se apoiado nas paredes de meiação, com uma extensão de cerca de dois terços da espessura da parede, podendo, em alguns casos, apoiar-se completamente na sua espessura. Este vigamento é colocado paralelamente entre si, com espaçamentos entre 50 e 70cm e estabilizado por tarugos, espaçados entre si cerca de 1,5m. Esta disposição começa e termina com uma viga apoiada nas paredes externas.

Os pisos dos sobrados são revestidos com um soalho, normalmente em madeira de pinho, com espessuras que variam entre 2,5 a 5cm, ver figura 3.5.

Quanto aos tetos, anteriormente constituídos por um tabuado pregado diretamente ao vigamento, a partir de meados do séc. XIX, surgiu uma técnica que consiste na conceção de uma estrutura de ripas – fasquios, dispostas em forma de grelha para suporte de revestimentos e acabamentos em gesso dos tetos.



Legenda 3. 5 - Pormenor ligação de pavimento com fachada.

3.2.3.5. Coberturas

Até meados do séc. XIX, os telhados típicos da casa do Porto são de quatro águas, constituídos por duas vertentes principais, correspondentes às paredes de meiação, e por duas tacaniças, correspondentes às paredes das fachadas.

No entanto, a partir de finais do séc. XIX, gradualmente, as estruturas antigas, que utilizavam vigas de paus rolados, foram sendo substituídas por vigas de madeira mais robustas e precisas. Ao mesmo tempo, a introdução da telha Marselha na construção tornou comum o uso de telhados de duas águas, o que possibilitava inclinações mais íngremes nas vertentes e, por conseguinte, melhor aproveitamento do vão da cobertura.

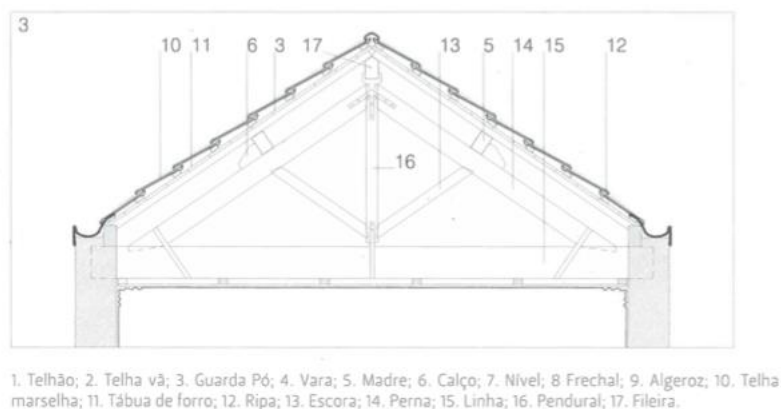
A sua estrutura é constituída por asnas, espaçadas entre si cerca de 3m, podendo este ritmo ser interrompido pela localização da claraboia. As asnas antigas constituem uma estrutura simples, composta por: linha, pernas e nível. No entanto, essas asnas foram progressivamente substituídas por estruturas mais completas, compostas por: linha, pernas, pendural e escoras.

A estrutura da cobertura consiste, assim, em uma armação composta por duas barras, denominadas de pernas, dispostas em forma de tesoura, unidas superiormente a meia madeira e apoiadas numa viga transversal, denominada de linha que, por sua vez, apoia nas paredes de meiação, ver figura 3.6.

Esta estrutura pode ser travada longitudinalmente, ao nível da cumeeira e a meio do vão das duas pernas, pelo pau de fileira e pelas madres, respetivamente. Sobre esta estrutura é fixado um varedo, com um espaçamento de 50cm, e sobre este o ripado, onde vão assentar as telhas (Teixeira, 2004).

As claraboias são uma característica muito peculiar das casas do Porto, pelas suas variadas formas, desde as mais simples e retangulares até às mais complexas, circulares ou elípticas. Os seus lanternins, situam-se tanto ao longo do plano das águas da cobertura, como constituem elaboradas formas prismáticas de ferro e vidro. Normalmente, é disposta uma claraboia de grandes dimensões na localização das escadas interiores, possibilitando a sua iluminação natural e ventilação dos espaços interiores.

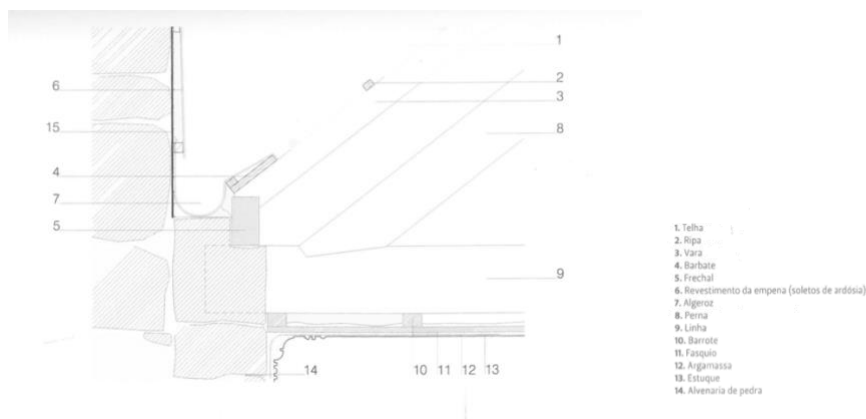
A maioria das casas tradicionais do Porto, possui construções adicionais de pequenas dimensões em tabique nos seus telhados, como águas-furtadas, trapeiras ou mirantes, muitas vezes adicionadas durante o uso das habitações, possibilitando a iluminação e ventilação dos seus vãos. Caso essas estruturas sejam integradas, aproveitado o seu espaço, são designadas de trapeiras. Por outro lado, se são elevadas e acima do telhado, são conhecidas como mirantes.



Legenda 3. 6 - Pormenor da estrutura da cobertura.

Adicionalmente, a recolha de águas pluviais das coberturas, geralmente de quatro águas, é realizada através de algerozes, revestidos a chapa de chumbo ou de ferro com acabamento galvanizado ou zincado, localizadas ao longo das paredes de meiação, quando as casas possuem platibanda, ver figura 3.7.

A drenagem é, geralmente, feita através de tubos de queda embebidos nas paredes das fachadas, executados em ferro fundido ou em chapa de ferro com acabamento zincado ou galvanizado, e em chumbo.

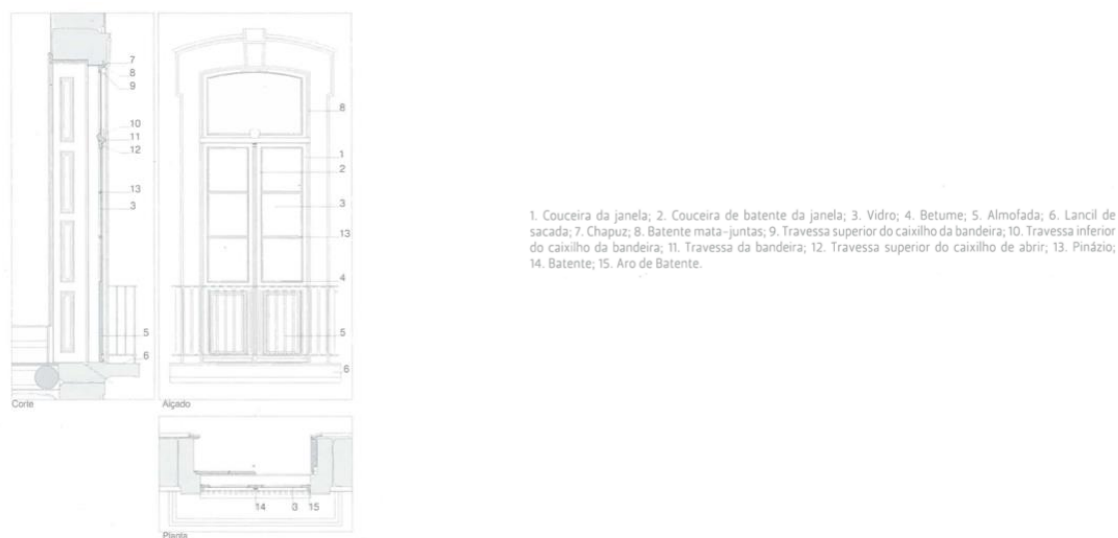


Legenda 3. 7 - Ligação da cobertura com a empena.

3.2.3.6. Caixilhos exteriores

As portas, a partir do séc. XIX, tornam-se mais leves e estreitas, geralmente de duas folhas, cada um com um postigo oblongo, envidraçado e móvel, protegido exteriormente por uma grade de ferro. Estas portas situam-se sempre nos vãos de acesso à habitação e ao espaço comercial, com acessos pela rua e pelo logradouro, ver figura 3.8.

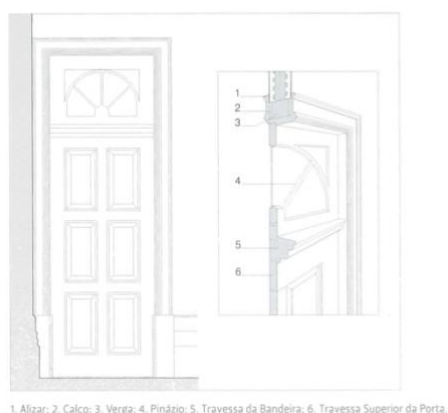
Quanto às janelas, as janelas de peito de batente e as janelas de sacada de batente localizam-se nos pisos das habitações. Contudo, enquanto as janelas de sacada são sempre de batente, as restantes podem ser de batente ou de guilhotina.



Legenda 3. 8 - Alçado, planta e corte tipo de janela de batente de sacada.

3.2.3.7. Caixilhos interiores

As caixilharias interiores, adotam o mesmo tipo de execução das caixilharias exteriores descritas anteriormente, ver figura 3.9.



Legenda 3. 9 - Alçado e pormenor da bandeira de uma porta interior.

3.3. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

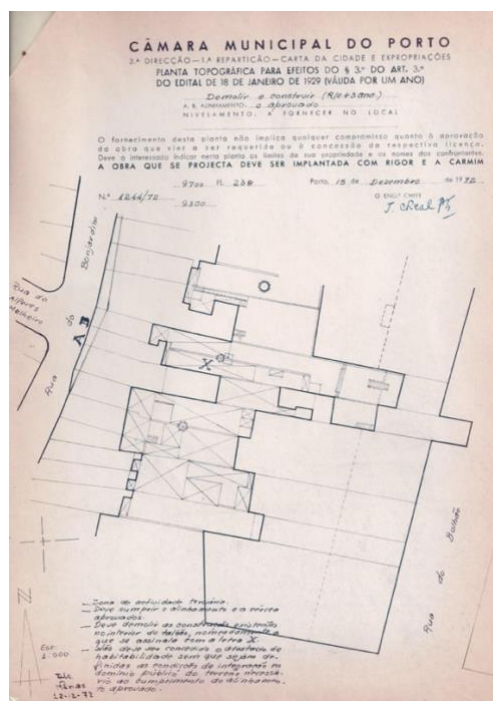
O edifício em estudo, enquadra-se na categoria de edifícios do património edificado corrente, caracterizado pela arquitetura tradicional da construção antiga da cidade do Porto. Este edifício, não só representa uma notável importância arquitetónica, mas também detém um significado cultural e histórico, preservando as características da casa burguesa do Porto, acima caracterizadas.

3.3.1. LOCALIZAÇÃO

O edifício localiza-se no Porto, na Rua do Bonjardim, atrás do atual parque de estacionamento da Trindade, ver figura 3.10.

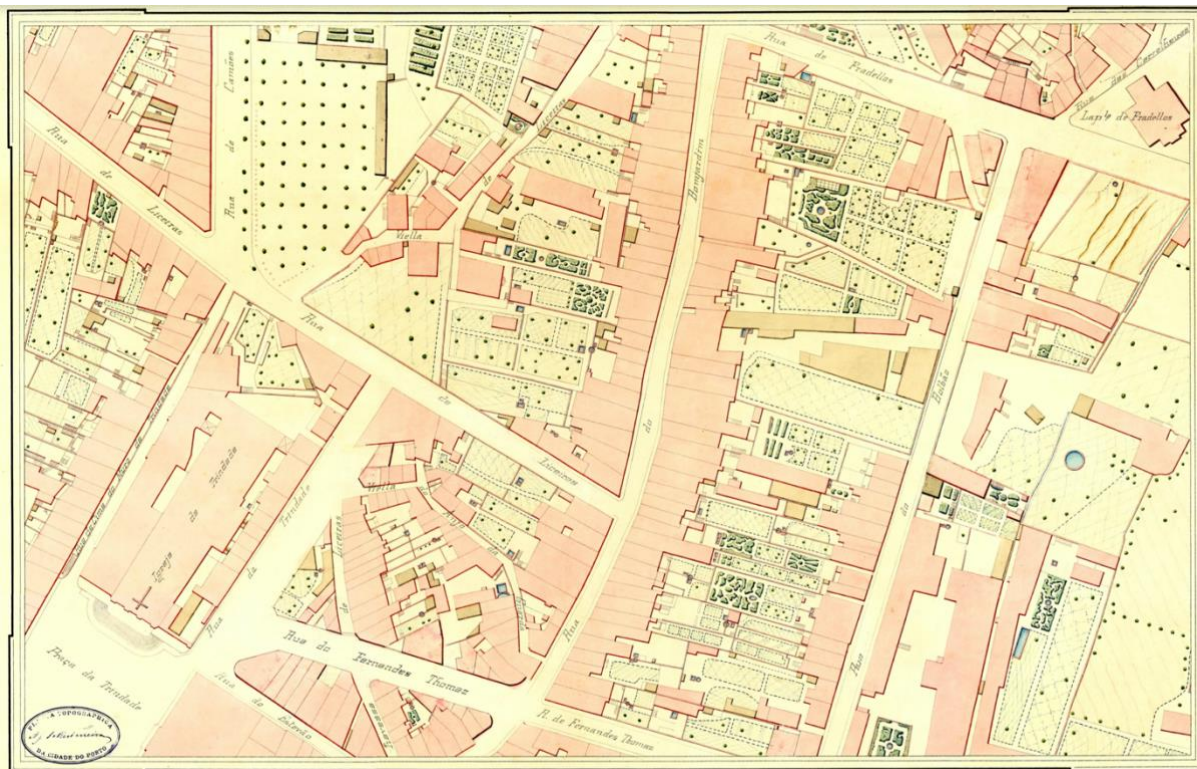


Legenda 3. 10 - Fachada principal do edifício e logradouro do edifício.



Legenda 3. 11 - Carta da câmara municipal do Porto.

Como não existe informação da data de construção do edifício em estudo, através das plantas topográficas da cidade do porto, como exemplo a da figura 3.11, pela da análise da evolução do lote onde se situa o edifício, é possível concluir-se que terá sido construído no final século XIX, aproximadamente no ano de 1892.



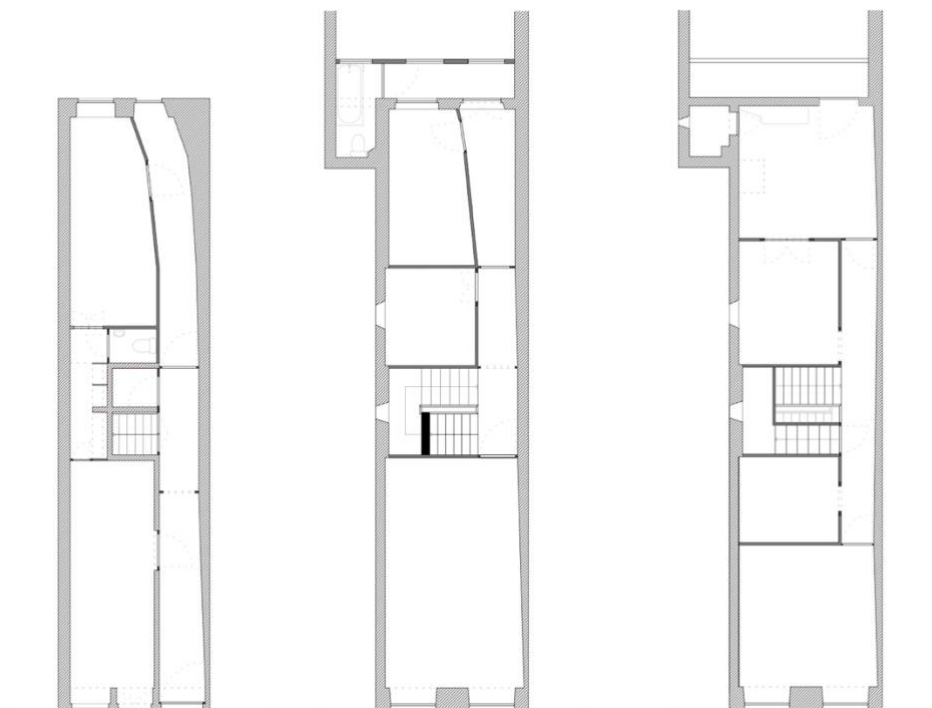
Legenda 3. 12 - Planta topográfica da cidade do porto, à escala 1:500, levantada sob a direção de Augusto Gerardo Teles Ferreira (1892).

3.3.2. CARACTERIZAÇÃO FUNCIONAL DO EDIFÍCIO

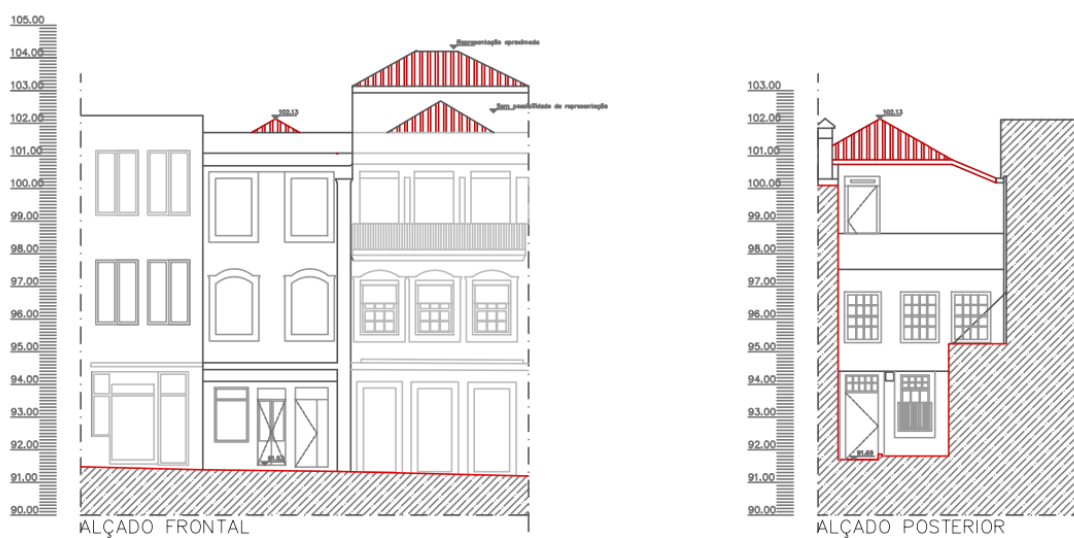
O edifício em estudo é um edifício habitacional, constituído pelo piso 1 com 4 divisões, piso 2 com 3 divisões e piso 3 com 4 divisões e um logradouro na parte posterior.

- Área total do terreno: 182,7 m²;
- Área de implantação do edifício: 77,54 m²;
- Área do logradouro: 105,16 m²;
- Nº pisos da fração: 3.

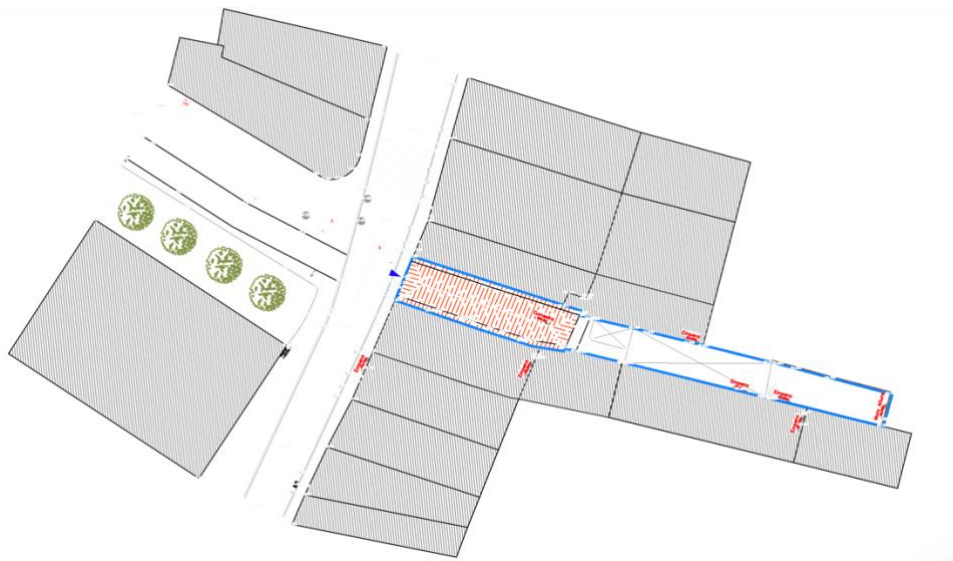
Nas figuras 3.13, 3.14, 3.15, são apresentadas as plantas arquitetónicas dos pisos, os alçados do edifício e a sua planta topográfica, respetivamente.



Legenda 3. 13 - Plantas arquitetónicas de piso. À esquerda, piso 1; ao centro, piso 2; à direita, piso 3.



Legenda 3. 14 - Alçado frontal e posterior do edifício.



Legenda 3. 15 - Atual planta topográfica.

3.3.3. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA DO EDIFÍCIO

3.3.3.1. Fundações

Considerando o método construtivo tradicional, presume-se que as fundações sejam diretas, em alvenaria de granito. No entanto, essa suposição deverá ser confirmada durante a fase de intervenção pelo empreiteiro, pelo que, a inspeção desses elementos estruturais não se enquadra no âmbito do presente trabalho.

3.3.3.2. Paredes exteriores e de compartimentação

As paredes exteriores e a estrutura principal do edifício são constituídas por alvenaria resistente de granito. As paredes com cerca de 30 cm de espessura, encontram-se revestidas exteriormente a azulejo na fachada principal e, pelo interior, são emboçadas e regularizadas com argamassa de cal, areia e saibro, com acabamento a estuque e pintura, ver figuras 3.17 e 3.18.



Legenda 3. 17 - Parede exterior em alvenaria de pedra de granito.



Legenda 3. 16 - Parede de compartimentação em tabique.

Nos alçados exteriores, caracterizados pela simplicidade e simetria de linhas, é possível observar elementos decorativos e ornamentais, nomeadamente as cantarias de granito dos vãos exteriores e cornijas.

As paredes de compartimentação dos espaços interiores do edifício, são realizadas essencialmente em paredes de tabique, constituídas por uma estrutura de barrotes com cerca de 7cm de espessura, preenchidos com um tabuado de 4 a 5cm de espessura. Em ambas as faces da parede é fixado um fasquiado, até à altura do rodapé, onde é colocado o revestimento de reboco e acabamento em estuque.

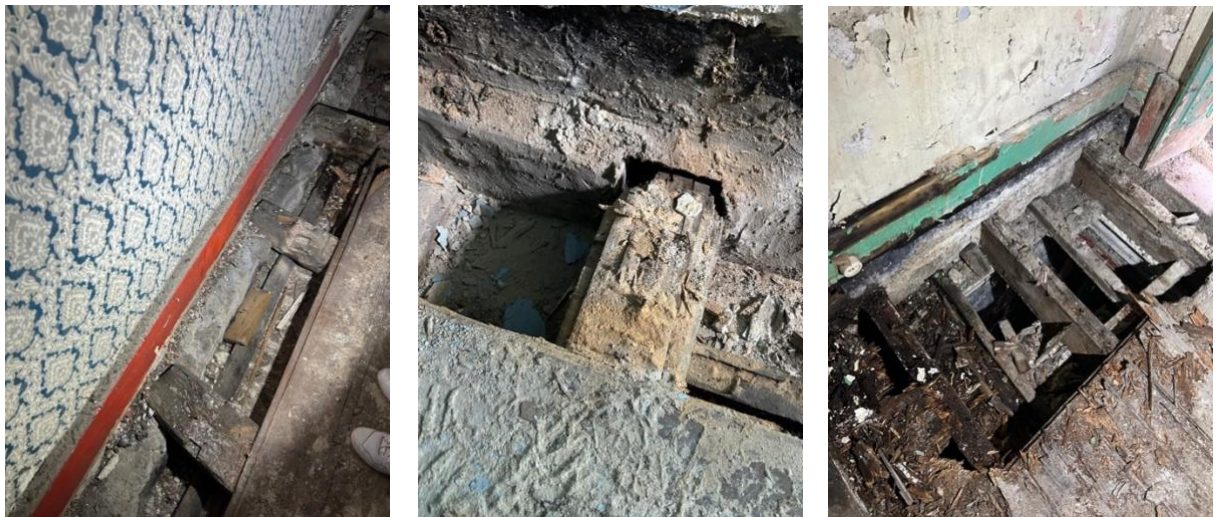
Posteriormente, na parte da estrutura da varanda referente ao 3º piso, foi construído um parapeito em tijolo 11cm. O pavimento da varanda, por sua vez, é constituído por uma laje de betão.

3.3.3.3. Pavimentos e tetos

A estrutura do pavimento é composta por um vigamento de madeira que se encontra apoiado nas paredes de meiação, com uma extensão de cerca de dois terços da espessura da parede.

Nas zonas inspecionadas, a secção das vigas principais apresenta-se com forma e secção pouco regulares, caracterizando-se por secções retangulares e circulares variáveis, com vãos relativamente curtos, na ordem dos 3m e 4m, medidos pela distância entre os apoios nas paredes de meiação em alvenaria de pedra. Os afastamentos médios observados entre eixos de vigas variam entre 57-115cm,

Sobre os vigamentos assenta diretamente o soalho, de espessura bastante reduzida, com cerca de 2cm.



Legenda 3. 18 - Vigas de madeira.

Quanto aos tetos, estes são realizados em estuque de gesso, assente sobre barrotes e ripados de madeira – fasquio, que fixam aos vigamentos do pavimento.

3.3.3.4. Cobertura

A cobertura do edifício é constituída por uma estrutura de madeira, composta por asnas que apoiam nas paredes de meiação em alvenaria de granito, materializando as quatro águas do telhado, ver figura 3.19.

As asnas são simples com nível e entre elas, apoiam as madres que, por sua vez, suportam os elementos as varas e os revestimentos da cobertura – guarda pó e telha Marselha.



Legenda 3. 19 - Composição da estrutura da cobertura.

3.3.3.5. Caixa de escadas

A caixa de escadas interior de acesso entre pisos, está executada em estrutura e degraus de madeira. As paredes de tabique são estruturais, ver figura 3.20.



Legenda 3. 20 - Estrutura da caixa de escadas interiores.

4

INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

4.1. OBJETO

Reabilitar edifícios patrimoniais é um processo complexo que envolve a preservação e revitalização de estruturas históricas através de uma abordagem multidisciplinar, garantindo que o seu valor cultural, arquitetónico e histórico seja mantido, enquanto os espaços são adaptados às necessidades e exigências de desempenho funcional associados ao novo programa.

Ainda que, sob adequadas condições, a madeira se possa manter em serviço durante séculos sem perdas de resistência mecânica, esta poderá degradar-se rapidamente se forem reunidos diversos fatores que afetam a sua capacidade resistente, entre eles, a presença de agentes xilófagos e a existência de defeitos/anomalias, como foi tratado no capítulo 2.

A metodologia de inspeção e diagnóstico tem por base a carta do (ICOMOS V. F., 2003), em que refere que, “as estruturas do património arquitetónico, em razão da sua história, muitas vezes complexa, exigem a realização de estudos e projetos seguindo etapas específicas, tal como no campo da medicina. Estas etapas incluem o diagnóstico, a terapia e a posterior verificação.”

Durante cada fase, são conduzidas pesquisas apropriadas para a recolha de dados e informações essenciais para identificar as causas das anomalias e, posteriormente, determinar as ações de intervenção a executar para que se verifique a segurança estrutural. É importante utilizar os recursos disponíveis de forma racional, visando minimizar o impacto sobre o património.

Serão abordadas, no presente capítulo as duas primeiras fases do processo, a fase de inspeção e diagnóstico. A importância destas fases baseia-se no documento “princípios para a preservação das estruturas históricas em madeira” (ICOMOS, 1999), que define que, antes de qualquer intervenção, deve ser feito um diagnóstico profundo e cuidado das causas de degradação estrutural.

Assim, a fase de inspeção envolve a análise detalhada da estrutura, em termos da sua geometria e composição dos elementos que a constituem, incluindo a identificação e mapeamento de danos presentes, com enfoque nos de natureza estrutural.

Já o diagnóstico baseia-se na informação recolhida durante a investigação histórica e a inspeção. O diagnóstico de elementos estruturais exige, simultaneamente, análises qualitativas e quantitativas. As análises qualitativas, envolvem a observação direta das alterações geométricas e da degradação dos

materiais, bem como a investigação histórica e arqueológica. As análises quantitativas, por sua vez, baseiam-se em ensaios específicos, monitorização de dados e análise estrutural (ICOMOS V. F., 2003).

Através do diagnóstico pretende-se, assim, a avaliação da gravidade e extensão dos problemas identificados, bem como a identificação das causas subjacentes. Além disso, o diagnóstico caracteriza o estado atual de conservação e segurança de elementos estruturais, fornecendo uma visão abrangente do estado de toda a estrutura, fornecendo a base para as decisões sobre a possível intervenção a realizar.

Deste modo, será possível restringir a intervenção a secções onde esta é efetivamente necessária e minimizar imprevistos, garantindo a sua eficiência.

Toda a informação recolhida deverá ser registada num documento designado por relatório de inspeção que detalha uma análise crítica e detalhada da estrutura, incluindo informação sobre os objetivos da inspeção e a descrição das técnicas instrumentais utilizadas na realização de ensaios não destrutivos e procedimentos utilizados (parâmetros de ensaio, número e localização de ensaios), o período em que decorreu a inspeção, a indicação dos resultados obtidos, refletindo a avaliação da condição dos elementos de madeira e, com base na análise estrutural, o relatório deve apresentar ações corretivas para garantir a sua segurança e durabilidade.

4.2. PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA INSPEÇÃO

A etapa inicial crucial no processo de reabilitação de projetos, é a fase de inspeção e diagnóstico que visam desempenhar um conjunto de tarefas, entre elas (Faria, 2023):

- a) A identificação e análise das anomalias presentes nas estruturas existentes, bem como as suas causas subjacentes;
- b) A avaliação detalhada dos materiais mais significativos, abrangendo desde a composição das alvenarias, até às características físicas e mecânicas dos elementos de madeira, como também, engloba uma análise dos principais revestimentos e acabamentos a serem mantidos;
- c) Formulação de soluções genéricas de intervenção, de forma a eliminar a causa das anomalias identificadas.

Ainda que seja um desafio por se tratar de edifícios antigos que dispõem de pouca informação escrita, antes de realizar a inspeção, é importante coletar a informação possível acerca da história do edifício, como, data de fim de construção, materiais estruturais utilizados e as suas dimensões, tipo de construção, ocupação e uso do edifício, possíveis obras ou reparos realizados, tipo de terreno, possíveis danos provocados por agentes xilófagos em edifícios próximos, etc.

Segundo a norma italiana (U84000420, 2003), através da inspeção pretende-se obter as seguintes informações relativamente aos elementos estruturais, com a finalidade de avaliar a sua integridade e conformidade com as especificações de desempenho:

- a) Identificação da espécie de madeira: a resistência de um elemento de madeira depende de vários fatores, entre eles, da espécie associada. Em construções antigas, encontra-se frequentemente madeiras tanto de Resinosas/Coníferas como de Folhosas, de diversas espécies;
- b) Teor em água e eventuais gradientes de humidade;
- c) Classes de risco biológico para a madeira, segundo as normas EN 335-1 e EN 335-2;

- d) Geometria (levantamento geométrico) e morfologia do elemento de madeira com indicação do posicionamento e extensão dos principais defeitos e degradações e danos eventualmente presentes (levantamento de danos);
- e) Posição, forma e dimensões das zonas e secções críticas: elementos em contacto com o solo, apoios de vigas em muros de fachada, apoio de lajes em pilares, lajes em zonas húmidas, encontro da cobertura com a fachada, chaminés na cobertura, lajes de cobertura plana.
- f) Classificação, segundo a resistência, dos elementos individuais e/ou das zonas críticas.

4.3. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO ESTUDO DE CASO

Previamente, a inspeção e diagnóstico inclui uma pesquisa inicial detalhada e estudo da história do edifício em questão, que abrangeu a época de construção, os materiais e métodos utilizados, a análise de fotografias que representam os seus espaços interiores e exteriores e a consulta de plantas e cortes arquitetónicos, apresentada no capítulo anterior.

Nesta fase, através da inspeção e diagnóstico do edifício em estudo, pretende-se conhecer e identificar os principais sistemas estruturais e descrever o estado de conservação da estrutura através da amostragem das zonas inspecionadas, identificando as principais anomalias presentes e as causas correspondentes. Por vezes, efetua-se uma análise detalhada dos pontos mais críticos da estrutura com recurso a ensaios não destrutivos, a fim de se obter informações acerca da capacidade resistente da estrutura que apoiem as decisões no projeto de reabilitação a ser realizado.

A metodologia definida compreende levantamentos, medições e ensaios expeditos, nomeadamente:

- a) Levantamento visual simplificado da estrutura de madeira, incluindo a identificação geral dos sistemas estruturais;
- b) Inspeção visual e avaliação do estado de conservação geral e identificação de fenómenos de degradação das estruturas de madeira;
- c) Ensaios de integridade não destrutivos com recurso a ferramentas tradicionais e equipamentos de avaliação da resistência à perfuração (no estudo de caso desta dissertação, recorreu-se ao uso do Resistograph).

4.3.1. IDENTIFICAÇÃO DA ESPÉCIE DE MADEIRA

No que diz respeito à identificação da espécie, esta baseou-se exclusivamente na inspeção visual, apoiada na experiência do orientador da empresa que apoiou a dissertação, atribuindo uma família específica com intervalos de resistência previamente definidos, uma vez que, para obter informações mais precisas sobre as propriedades mecânicas de uma determinada espécie de madeira, seria necessário realizar testes destrutivos de resistência à flexão e determinação da massa volúmica e módulo de elasticidade de provetes de madeira, o que não está incluído no âmbito do presente trabalho.

Assim, por observação visual a madeira aparenta pertencer à espécie das folhosas, previsivelmente **madeira de castanho e carvalho portugueses**.

4.3.2. LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO/ESTRUTURAL

Com o intuito de conhecer as características geométricas dos elementos constituintes das estruturas de madeira do edifício, procedeu-se ao levantamento dos vigamentos de pavimentos.

Para viabilizar o levantamento geométrico, foram feitas aberturas no pavimento onde se retirou parte da secção do soalho para criar janelas de inspeção, possibilitando a medição da secção das vigas e a determinação do espaçamento entre as mesmas.

O levantamento geométrico da secção das vigas foi realizado com o auxílio de uma fita métrica e o espaçamento entre elas foi medido ao eixo médio das vigas.

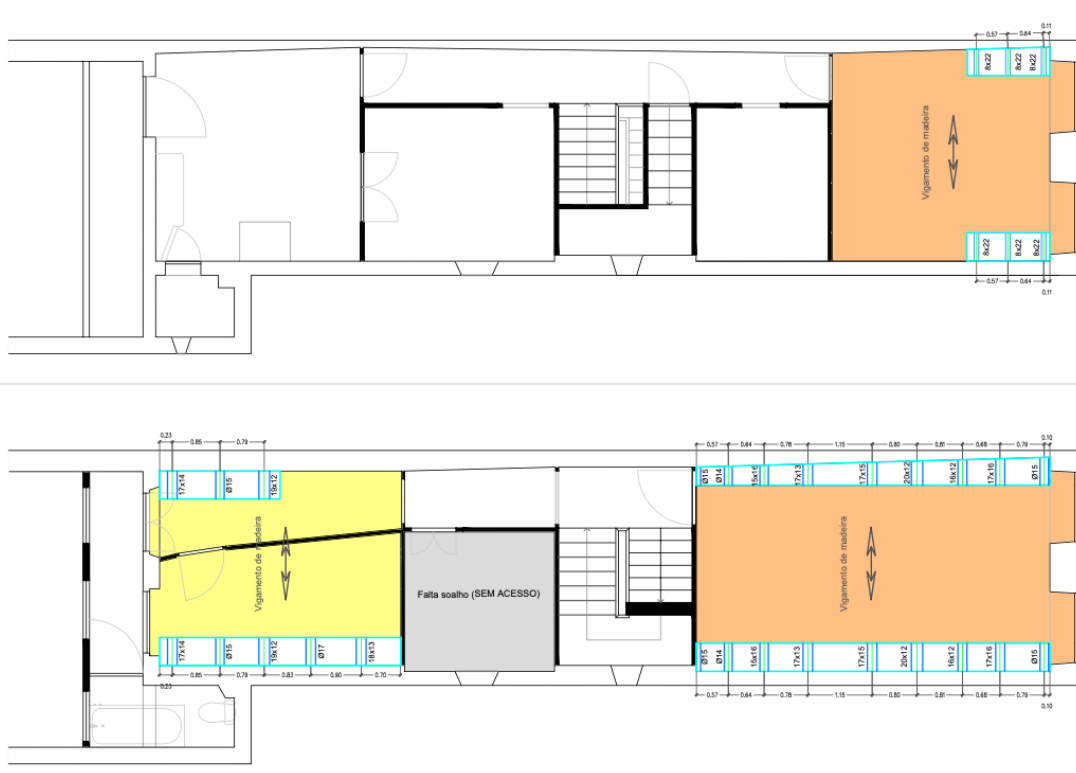
É de notar que, devido à degradação dos elementos estruturais de madeiras em alguns compartimentos do edifício, tal facto impossibilitou a sua inspeção pela insegurança de acesso e circulação desses locais. Assim, foram inspecionadas as zonas com acesso direto em segurança.

As secções das vigas inspecionadas são apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 4. 1 - Levantamento geométrico do vigamento de pavimentos.

Pavimento Piso 2	Zona	Secção (cm)
Viga 1	1	Ø15
Viga 2	1	17x16
Viga 3	1	16x12
Viga 4	1	20x12
Viga 5	1	17x15
Viga 6	1	17x13
Viga 7	1	15x16
Viga 8	1	Ø14
Viga 9	1	Ø15
Pavimento Piso 2	Zona	Secção (cm)
Viga 1	2	17x14
Viga 2	2	Ø15
Viga 3	2	19x12
Viga 4	2	Ø17
Viga 5	2	18x13
Pavimento Piso 3	Zona	Secção (cm)
Viga 1	1	8x22
Viga 2	1	8x22
Viga 3	1	8x22

À zona 1 correspondem os compartimentos situados junto à fachada principal do edifício e, por sua vez, à zona 2, correspondem os compartimentos situados junto ao logradouro, ver figura 4.1.



Legenda 4. 1 - Identificação das zonas 1 e 2, correspondentes ao pavimento do piso 2 (planta em baixo) e piso 3 (planta em cima).

4.3.3. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS

De modo a obter o estado de conservação das vigas, procedeu-se ao levantamento de patologias das zonas previamente definidas a inspecionar, com auxílio de um foco de luz devido à falta de iluminação dos compartimentos e do formão e brochas para limpeza da madeira, permitindo uma boa observação da mesma.

Tanto no pavimento do piso 2, como no piso 3, na zona 1, foram abertas duas janelas de inspeção, uma do lado direito e outra do lado esquerdo do compartimento. O mesmo procedimento foi usado para inspecionar o compartimento respetivo à zona 2 do piso 2.

4.3.3.1. Infiltração de água

Considerando a propriedade higroscópica da madeira, foi possível identificar, ao longo da inspeção, zonas com elevados teores de humidade, especialmente em junções dos elementos estruturais, como na ligação das vigas de pavimento com a parede de alvenaria de granito, como é o caso.

Quando a madeira é exposta a infiltrações de água, a humidade interna aumenta, criando condições ambientais ideais para o crescimento de fungos e outros microrganismos que degradam os elementos estruturais, ver figuras 4.2, 4.3 e 4.4.



Legenda 4. 2 - Viga 3, piso 3, zona 1 (lado direito), verifica-se infiltração de água.



Legenda 4. 4 - Viga 1, piso 3, zona 1 (lado esquerdo), verifica-se infiltração de água.



Legenda 4. 3 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), verifica-se infiltração de água.

4.3.3.2. Fungos de podridão

Durante a inspeção do vigamento de pavimento, foi possível identificar a presença de **fungos de podridão**, que provocaram danos relevantes na madeira maciça.

Os fungos de podridão são perceptíveis, essencialmente, na zona de apoio da viga na parede de alvenaria de granito, acompanhados pela perda significativa de secção dos elementos de madeira.

Como já foi estudado no capítulo 2 do presente estudo, os fungos de podridão distinguem-se em três tipos. O fungo de podridão observado durante a inspeção caracteriza-se como um **fungo de podridão cúbica**, devido à forma como o elemento de madeira racha quando seca, formando uma estrutura composta por pequenos cubos, ver figuras 4.5 e 4.6.



Legenda 4. 5 - Viga 1 (pisso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de fungos de podridão cúbica e perda de secção.



Legenda 4. 6 - Viga 5 e 6 (pisso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de fungos de podridão cúbica e perda de secção no apoio.

De um modo geral, todas as vigas referentes ao piso 2 na zona 1 (lado esquerdo), apresentam perda de secção de aproximadamente 10cm, essencialmente na zona de apoio. Isso ocorre pela presença de fungos de podridão cúbica, que degradam a madeira. Isso tipo de deterioração é bastante comum em zonas de junções entre elementos estruturais (vigas – parede), onde há presença de humidade e falta de ventilação.

No mesmo piso, na zona 2, próxima ao logradouro, constatou-se que algumas vigas do pavimento desse compartimento, apresentam patologias da mesma origem, ver figuras 4.7 e 4.8.



Legenda 4. 8 - Viga 1, piso 2, zona 2, com presença de fungos de podridão e perda de secção no apoio.



Legenda 4. 7 - Viga 3, piso 2, zona 2, com presença de fungos de podridão e perda de secção no apoio.



O mesmo se verifica para as restantes vigas desse compartimento, ainda que em menor extensão.

No piso 3, na zona 1 (lado esquerdo), identificaram-se danos graves deste ataque de fungos de podridão, acompanhada da completa degradação do elemento de madeira. Por se tratar de uma parede de meação com maior exposição climática ao longo dos anos, antes da construção do edifício ao lado, esta apresenta grandes teores de humidade, o que fomenta o aparecimento desta patologia, ver figura 4.9.



Legenda 4. 9 - Viga 1, piso 3, zona 1 (lado esquerdo), com presença de fungos de podridão e completa degradação do elemento de madeira.

4.3.3.3. Fungos cromogéneos

Durante a inspeção, verificou-se a presença de umas manchas brancas/azuladas na madeira, provocadas pelo crescimento de bolores na sua superfície. Estes fungos aparecem, essencialmente, em ambientes húmidos e pouco ventilados que favorecem o seu crescimento, ver figura 4.10.



Legenda 4. 10 - Viga 4 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), com presença de bolores.

4.3.3.4. Insetos de ciclo larvar

Foram encontrados, ao longo da fase de inspeção, ataque produzidos por insetos de ciclo larvar da família dos Anóbios e Cerambicídeos. Estes insetos são, geralmente, denominados por caruncho/caruncho grande, respetivamente e, alimentam-se da madeira quando se estabelecem condições ambientais ideais de elevados teores de água.

O ataque por estes insetos é perceptível pelas galerias escavadas observadas na madeira, com cerca de 1cm de diâmetro, que podem constituir perigo para a segurança estrutural dos seus elementos.

A extensão do seu ataque está essencialmente presente nas vigas de pavimento do piso 2.

Para além, das vigas abaixo apresentadas com registo fotométrico, o mesmo se verificou para as vigas 4, 5 e 7 do lado direito do referente compartimento e, para a vigas 2, 3, 8 e 9 do lado esquerdo, ver figuras 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15.



Legenda 4. 13 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado direito), com ataque de insetos de ciclo larvar.



Legenda 4. 12 - Viga 1, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.



Legenda 4. 11 - Viga 6, piso 2, zona 1 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.



Legenda 4. 15 - Viga 2, piso 2, zona 2 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.



Legenda 4. 14 - Viga 4, piso 2, zona 2 (lado esquerdo), com ataque de insetos de ciclo larvar.

4.3.4. ENSAIOS EXPERIMENTAIS – RESISTOGRAPH

O diagnóstico estrutural, requer o recurso a ensaios experimentais, de modo a quantificar as características físicas e mecânicas dos seus elementos e posterior aferição do seu comportamento estrutural. Através de ensaios não destrutivos, com recurso ao Resistograph, em termos de valor estimado médio, determinou-se o valor da densidade.

Inicialmente, identificam-se pontos estratégicos nos elementos estruturais de madeira onde a madeira se apresenta visualmente sã, para obter um valor médio de referência da densidade. Posteriormente, são conduzidos ensaios experimentais na madeira degradada para avaliar a sua capacidade de resistência estrutural, por meio de comparação de valores de densidade obtidos com o valor médio de referência da densidade a esperar. Perdas de densidade significativas, representam degradações/vazios no elemento estrutural.

O ensaio de Resistograph foi realizado utilizando o modelo RESISTOGRAPH 4450-P, como já foi referido no capítulo 2.5.4.2.

Tendo em conta a dimensão da janela de inspeção que só permitiu visualizar uma pequena parte do vão, as vigas foram ensaiadas junto aos apoios. A secção transversal das vigas (base maior de 20cm e altura maior de 22cm), permitiu que a agulha do Resistograph conseguisse perfurar toda a secção, sendo apenas necessário realizar uma medição nesse sentido.

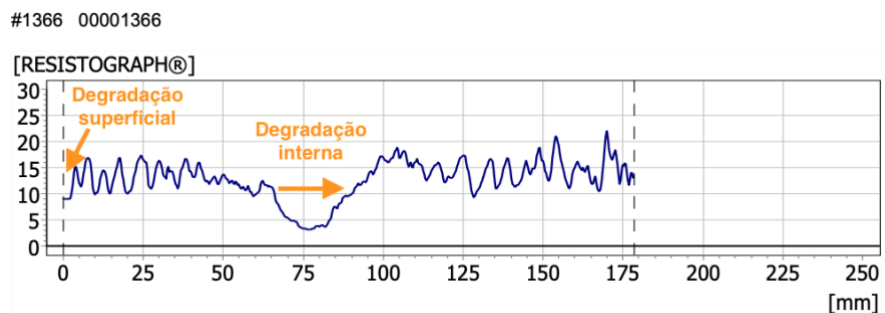
Assim, foi realizada uma primeira medição na Viga 1 (pisso 2, zona 2) a meio vão da secção que se encontrava visível e uma segunda medição na mesma viga, junto ao apoio. Em algumas vigas, o ensaio foi orientado na face lateral das mesmas. No total, foram realizadas 18 medições do ensaio do Resistograph, às 17 vigas de madeira de castanho, em análise.

4.3.4.1. Resultados obtidos

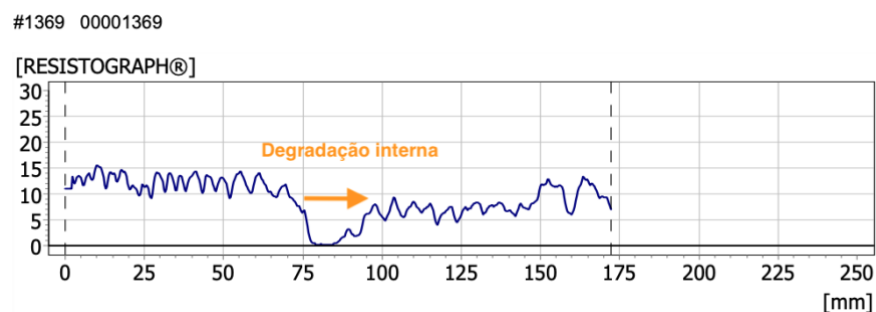
Como já foi referido no capítulo 2.5.4.2., os resultados obtidos pelo Resistograph são relacionáveis com a densidade da madeira inspecionada, sendo possível obter um perfil de variação radial da resistência à perfuração ao longo da peça. Esse perfil é bastante útil na análise qualitativa dos seus elementos, pelo que, é possível identificar os anéis de crescimento, zonas de degradações superficiais, zonas de degradação biológica e degradações/vazios internos.

Nas figuras 4.16, 4.17, 4.18 e 4.19, apresentadas abaixo, estão representados a saída de dados de alguns dos ensaios realizados às vigas de pavimentos, onde é possível observar:

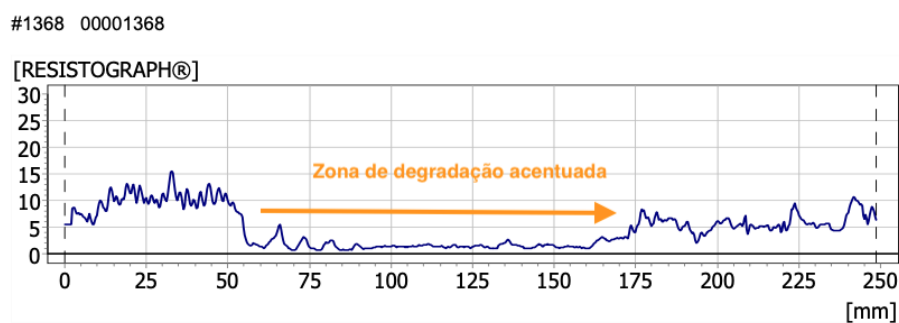
- a) Zonas de relativa homogeneidade dos elementos em que a madeira se encontra sã;
- b) Zonas de degradação superficial, causadas pela perda de secção na zona de apoio (podridão cúbica) e/ou, presença de caruncho superficial e/ou, infiltração de água;
- c) Zonas de degradação interna, devido a eventuais degradações/fendas/vazios internos.



Legenda 4. 16 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 1 (pisso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água, caruncho superficial e perda de secção.

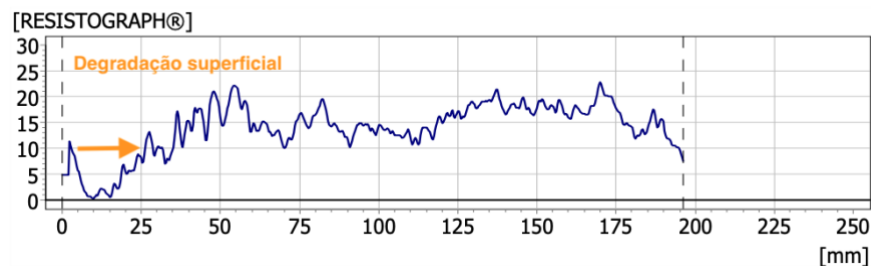


Legenda 4. 17 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 5 (pisso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água, caruncho superficial e perda de secção.



Legenda 4. 18 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 3 (pisso 2, zona 1, lado esquerdo), diagnosticada anteriormente com presença de caruncho.

#1372 00001372



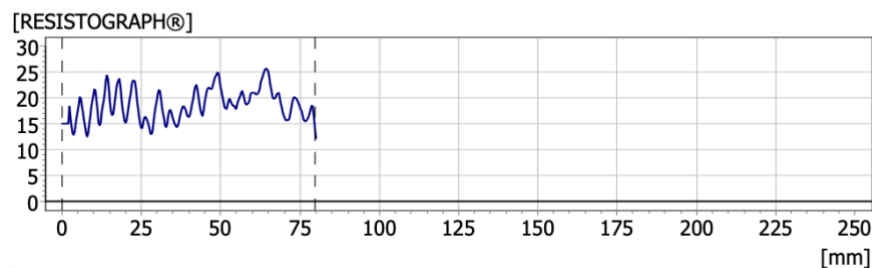
Legenda 4. 19 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 1 (piso 3, zona 1, lado direito), anteriormente sem nenhuma patologia observada.

Foram realizados dois ensaios junto aos apoios, a duas vigas de secções iguais, situadas em lados opostos do mesmo compartimento. O primeiro ensaio, no sentido lateral da peça, corresponde à viga com presença de infiltração. O segundo ensaio, corresponde à viga visualmente sã.

Através dos gráficos apresentados abaixo, é possível observar que o segundo ensaio apresenta uma maior homogeneidade da densidade da peça comparativamente ao primeiro ensaio que apresenta maiores variações de densidade, possivelmente devido à presença de água na peça que provoca a degradação da densidade da mesma, ver figuras 4.20 e 4.21.

No entanto, da mesma forma, a densidade da madeira que pertence aos anéis de crescimento de primavera é, sensivelmente menor do que a densidade da madeira que pertence aos anéis de crescimento de outono, verificando-se essa sucessão de cristas e vales que correspondem às diferentes dificuldades de penetração nas diferentes áreas (L. Acuña, 2011). Ao contrário do primeiro ensaio, no segundo, as áreas correspondentes aos anéis de crescimento (primavera-outono), são sensivelmente constantes, não se verificando grandes variações de densidade.

#1374 00001374



Legenda 4. 20 - Ensaio lateral de Resistograph realizado à viga 3 (piso 3, zona 1, lado direito), diagnosticada anteriormente com presença de infiltração de água.



Legenda 4. 21 - Ensaio de Resistograph realizado à viga 2 (pisso 3, zona 1, lado esquerdo), anteriormente sem nenhuma patologia observada.

Os resultados fornecidos pelo Resistograph, para além de permitirem uma análise qualitativa, permitem uma análise quantitativa que envolve o tratamento estatístico de dados para a determinação do Valor de Resistograph médio (VR) para cada perfil. Este valor representa a resistência global da perfuração da peça e foi calculado da seguinte forma:

$$VR = \frac{\sum_{i=1}^n Ri \times 0,1}{I} \quad (5)$$

em que, I corresponde ao intervalo compreendido entre o valor inicial e final em análise.

A tabela 4.2 abaixo, apresenta os valores de Resistograph obtidos para cada uma das vigas.

Tabela 4. 2 - Resultados obtidos do valor de Resistograph para cada viga inspecionada.

Pavimento piso 2	Zona	Ensaio	VR médio bruto	VR médio percentual
Viga 1	1 (lado esquerdo)	1366	170	12,8
Viga 2	1 (lado esquerdo)	1367	148	10,5
Viga 3	1 (lado esquerdo)	1368	94	4,7
Viga 5	1 (lado esquerdo)	1369	135	9
Viga 7	1 (lado esquerdo)	1370	176	13,4
Viga 2	1 (lado direito)	1364	163	12,1
Viga 4	1 (lado direito)	1365	132	8,7
Pavimento piso 2				
Viga 1	2	1359	167	12,5
		1360	134	8,9
Viga 2	2	1361	159	11,6
Viga 3	2	1362	161	11,8
Viga 4	2	1363	139	9,4
Pavimento piso 3				
Viga 1	1 (lado direito)	1371	178	13,7
		1372	181	13,9
Viga 2	1 (lado direito)	1373	170	12,8
Viga 3	1 (lado direito)	1374	229	19
Viga 2	1 (lado esquerdo)	1375	222	18,3
Viga 3	1 (lado esquerdo)	1376	216	17,6

A viga 3 (piso 2, zona 1, lado esquerdo), apresenta um valor de Resistograph médio percentual significativamente baixo quando comparado com o restante conjunto de valores, que pode ser justificado pela presença de degradação acentuada ao longo do perfil de variação radial que, consequentemente, se reflete na baixa resistência que a peça oferece à sua perfuração.

4.3.4.2. Atribuição de classes de resistência – Correlação do valor de Resistograph

Como já foi referido no capítulo 2.5.2.2., existem estudos que correlacionam os valores obtidos de Resistograph com as propriedades mecânicas da madeira de castanho (*Castanea Sativa Mill*).

Assim, pretende-se, aplicar essas correlações entre os valores do Resistograph obtidos e as propriedades mecânicas dos elementos estruturais. Segundo, (Feio, 2004), apenas se correlacionam-se os valores da densidade (ρ), uma vez que, os seus estudos apresentaram valores bastante aceitáveis de correlação.

A equação utilizada para estimar a densidade com um coeficiente de correlação, $R^2 = 0,71$, foi a seguinte:

$$VR_{médio} = 2,07 \rho - 1005,2 \quad (6)$$

Como os elementos estruturais pertencem à mesma espécie de madeira, utilizou-se um valor de Resistograph médio representativo da sua amostragem, obtendo-se o valor médio de densidade de 492 Kg/m³, ver tabela 4.3.

Tabela 4. 3 - Cálculo da densidade através da correlação com os valores de Resistograph.

Pavimento piso 2	VR médio percentual	Densidade (kg/m³)
Viga 1	12,8	491,8
Viga 2	10,5	490,7
Viga 3	4,7	487,9
Viga 5	9	490,0
Viga 7	13,4	492,1
Viga 2	12,1	491,4
Viga 4	8,7	489,8
Pavimento piso 2		
Viga 1	12,5	491,6
	8,9	489,9
Viga 2	11,6	491,2
Viga 3	11,8	491,3
Viga 4	9,4	490,1
Pavimento piso 2		
Viga 1	13,7	492,2
	13,9	492,3
Viga 2	12,8	491,8
Viga 3	19	494,8
Viga 2	18,3	494,4
Viga 3	17,6	494,1
VR médio	12,3	491,5

Como a EN 338 refere no ponto 6.2.2., uma população de madeira pode ser atribuída a uma classe de resistência se os seus valores característicos de resistência à flexão, f_m , e densidade, ρ , forem iguais ou superiores aos valores para essa classe de resistência indicados na Tabela 1 da presente norma.

Considerando o valor da densidade médio de 640 kg/m³, estabelecido na Tabela 1 da EN 338, para a classe D30 correspondente à madeira de castanho, o valor obtido por correlação encontra-se inferior, concluindo-se que não seria uma correlação recomendada para utilizar nesta estrutura. Ainda assim, é de notar que para alcançar resultados mais homogêneos e viáveis, seria ideal realizar ensaios de 50 em 50 cm ao longo do desenvolvimento da peça. Essa abordagem permitiria uma análise mais detalhada e precisa das variações de densidade.

4.4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

É importante considerar que os ensaios de Resistograph são testes pontuais e nunca devem ser utilizados para validar uma peça estrutural como um todo. No entanto, é um método de avaliação qualitativa bastante útil para a deteção de degradações internas/fendas/vazios e deteção de ataques por agentes xilófagos. Esses defeitos são facilmente detetáveis, através de quedas bruscas de resistência à perfuração ou pela completa ausência de resistência à perfuração.

Como verificamos nos gráficos de perfis fornecidos pelos ensaios, algumas vigas apresentam degradações internas pontuais, no entanto, não existe grande variação dos valores de Resistograph obtidos quando comparados com o valor de Resistograph do ensaio (1359) realizado em madeira visualmente sã.

Para além disso, a determinação da densidade por meio deste método não destrutivo, é realmente o mais preciso, quando comparado a outros equipamentos. Conforme referido, as relações obtidas entre os

valores obtidos e a densidade, apresentam coeficientes de correlação superiores a 80%, variando de acordo com a espécie de madeira.

Para a solução estrutural proposta no capítulo 6, irão considerar-se os resultados obtidos ao nível das degradações encontradas em peças existentes, e que se prevê manter.

Para a verificação estrutural a usar no capítulo 5, adotar-se-á a classe D30.

No ANEXO I, apresenta-se as plantas referentes a cada piso, representativas do levantamento geométrico, levantamento de patologias e levantamento de ensaios de resistograph realizados, composto pelas seguintes fichas:

- ANEXO I.1 – Levantamento geométrico;
- ANEXO I.2 – Levantamento de patologias e respetiva legenda;
- ANEXO II.3 – Ensaios de resistograph e levantamento fotogramétrico.

5

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DA ESTRUTURA EXISTENTE

5.1. OBJETO

Como refere, ICOMOS, após recolher a informação estrutural da fase de inspeção da estrutura, é indispensável determinar o nível de segurança da estrutura existente, servindo de suporte à decisão de intervenção.

Assim, este capítulo, apresenta a avaliação estrutural dos elementos de madeira constituintes do pavimento do piso 2 e do piso 3 existentes.

A metodologia aplicada teve por base a seguinte regulamentação:

- Norma europeia 338 (EN338, 2009): Structural timber – Strength classes;
- Eurocódigo 0 (NP EN 1990:2009): Bases para o projeto de estruturas;
- Eurocódigo 1 (NP EN 1991:2009): Ações em estruturas;
- Eurocódigo 5 (EN 1995:2004): Design of timber structures.

A (EN338, 2009) define as propriedades físicas e mecânicas para a classe de resistência **D30** da madeira de castanho, previamente especificada no capítulo 2.3.7. Esses valores são utilizados para o dimensionamento e verificação de segurança da estrutura, ver figura 5.1.

D30	
Resistência [N/mm ²]	
Flexão (f _{m,k})	30
Tração paralela ao fio (f _{t,0,k})	18
Tração perpendicular ao fio (f _{t,90,k})	0,6
Compressão paralela ao fio (f _{c,0,k})	23
Compressão perpendicular ao fio (f _{c,90,k})	8
Corte (f _{v,k})	4
Rigidez [N/mm ²]	
Modulo de elasticidade médio paralelo (E _{0,mean})	11
5% do E _{0,mean} (E _{0,05})	9,2
Modulo de elasticidade médio perpendicular (E _{90,mean})	0,73
Módulo de corte médio (G _{mean})	0,69
Densidade (kg/m ³)	
Densidade (p _k)	530
Densidade média (p _{mean})	640

Legenda 5. 1 - Propriedades físicas e mecânicas - Classe de resistência D30.

O Eurocódigo 0, define princípios para o dimensionamento em relação aos estados limites, com distinção entre estados limites últimos e estados limites de utilização.

Entende-se por estados limites últimos, os que se referem à segurança das pessoas e/ou da estrutura, que precedem o colapso da estrutura associado à perda de estabilidade da estrutura, ou parte dela, ruína por deformação excessiva ou rotura provocada por fadiga.

Por sua vez, os estados limites de utilização referem-se ao desempenho da estrutura ou dos seus elementos estruturais em condições normais de utilização, atendendo ao conforto das pessoas. Assim, implicam a verificação de deformações, vibrações e outros aspetos que possam afetar negativamente a durabilidade e funcionamento da estrutura.

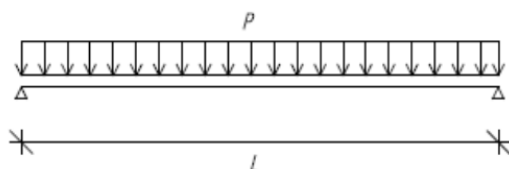
Através do Eurocódigo 1, são estabelecidos valores no que se refere a pesos volúnicos dos materiais de construção e dos materiais armazenados, a peso próprio dos elementos de construção e a sobrecargas em edifícios, a serem utilizados no projeto de estruturas.

O Eurocódigo 5, estabelece os princípios e requisitos de segurança e durabilidade das estruturas de madeira, aplicados ao pavimento em estudo, a serem verificados para os estados limites últimos: flexão, corte e bombeamento e para os estados limites de utilização: deformações e vibrações.

5.2. ESTADO LIMITE ÚLTIMO – FLEXÃO E CORTE

De modo a quantificar a resistência à flexão, calcularam-se para as três zonas de pavimento inspecionadas, as tensões instaladas.

O sistema estrutural é composto por vigas simplesmente apoiadas, com diferentes vãos e secções (definidas no levantamento geométrico, capítulo 4.3.2.), sujeitas a um carregamento que pode ser representado da seguinte forma, ver figura 5.2.



em que,

P – Carregamento (KN/m);

L – Largura do vão (m).

Legenda 5. 2 - Esquema de carregamento das vigas.

São consideradas no carregamento as cargas permanentes (G) correspondentes ao peso próprio das vigas e do soalho e uma carga variável (Q) correspondente à sobrecarga.

5.2.1. CARGAS PERMANENTES, G

O valor do peso próprio é determinado em função da secção do elemento e da respetiva massa volúmica. Desta forma, adotou-se o valor de $6,4 \text{ kN/m}^3$, que corresponde à massa volúmica de um elemento de madeira de castanho (classe resistente D30) e devido à irregularidade das secções das vigas, foi calculado individualmente o peso próprio para cada viga, de acordo com a seguinte equação:

Para secções retangulares,

$$Peso\ próprio_{vigas} = Massa\ volúmica\ [kN/m^3] \times Base\ [m] \times Altura\ (m) \quad (7)$$

Para secções circulares,

$$Peso\ próprio_{vigas} = Massa\ volúmica\ [kN/m^3] \times \pi \times R^2\ (m) \quad (8)$$

Quanto ao revestimento de piso em soalho, admitiu-se madeira de pinho bravo à qual corresponde uma classe de resistência C18 e um valor de massa volúmica de $3,8 \text{ kN/m}^3$. As tábuas de soalho constituem uma espessura de 2 cm, para o cálculo do seu peso próprio:

$$Peso\ próprio_{soalho} = Massa\ volúmica\ [kN/m^3] \times Espessura\ (m) \quad (9)$$

A carga permanente (G) é calculada pelo somatório do peso próprio das vigas e do soalho.

5.2.2. CARGA VARIÁVEL, Q

O Eurocódigo 1 (NP EN 1991:2009), conforme referido anteriormente, estabelece valores da sobrecarga em função das categorias de utilização das zonas carregadas. O Quadro 6.1. do EC1, estabelece a correspondência entre utilizações domésticas e residenciais à categoria A. Desta forma, as zonas de pavimento em estudo são classificadas nessa categoria.

O pavimento permite uma distribuição uniforme de cargas, representada por uma carga uniformemente distribuída, q_k . De acordo com o quadro abaixo apresentado, esta carga toma o valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$ para a categoria A de pavimentos, ver tabela 5.1.

Tabela 5. 1 - Eurocódigo 1 (NP EM 1991:2009), Sobrecargas.

<i>Categorias de zonas carregadas</i>	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
<i>Categoria A</i>		
- Pavimentos	1,5 a <u>2,0</u>	<u>2,0</u> a 3,0
- Escadas	<u>2,0</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 4,0
- Varandas	<u>2,5</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 3,0
<i>Categoria B</i>	2,0 a <u>3,0</u>	1,5 a <u>4,5</u>
<i>Categoria C</i>		
- C1	2,0 a <u>3,0</u>	3,0 a <u>4,0</u>
- C2	3,0 a <u>4,0</u>	2,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- C3	3,0 a <u>5,0</u>	<u>4,0</u> a 7,0
- C4	4,5 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>
- C5	<u>5,0</u> a 7,5	3,5 a <u>4,5</u>
<i>Categoria D</i>		
- D1	<u>4,0</u> a 5,0	3,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- D2	4,0 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>

5.2.3. COMBINAÇÃO DE AÇÕES, P

O valor do carregamento das vigas é dado por uma combinação de ações, p, da carga permanente com a carga variável, representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & \text{Combinação de ações (p)} \\
 & = (\text{Peso próprio}_{\text{vigas}} [\text{kN/m}] + \text{Peso próprio}_{\text{soalho}} [\text{kN/m}]) \times \gamma_G \quad (10) \\
 & + \text{Sobrecarga} \times \gamma_Q
 \end{aligned}$$

$$\text{Combinação de ações (p)} = G \times \gamma_G + Q \times \gamma_Q \quad (11)$$

$$\text{Combinação de ações (p)} = G \times 1.35 + Q \times 1.5 \quad (12)$$

5.2.4. TENSÕES

De acordo com o Eurocódigo 5 (EN 1995:2004), a verificação da capacidade resistente à flexão e ao corte é dada pelas seguintes expressões:

$$\tau_{md} \leq f_{md} [\text{kN/m}^2] \text{ (Verificação à flexão)} \quad (13)$$

$$\tau_{vd} \leq f_{vd} [\text{kN/m}^2] \text{ (Verificação ao corte)} \quad (14)$$

Sendo que, as tensões resistentes e as tensões atuantes são dadas pela seguinte forma:

$$\begin{aligned} f_{md} \\ = k_{mod} \times \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \text{ (Tensões resistentes à flexão)} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} f_{vd} \\ = k_{mod} \times \frac{f_{vk}}{\gamma_M} \text{ (Tensões resistentes ao corte)} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \tau_{md} = \frac{M_{sd}}{I_y} \times z = \frac{\frac{p \times l^2}{8}}{I_y} \\ \times z \text{ (Tensões atuantes à flexão)} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\tau_{vd} = \frac{V_{sd} \times S_y}{I_y \times b} \text{ (Tensões atuantes ao corte)} \quad (18)$$

Em que,

τ_{md} – Valor de cálculo da tensão atuante à flexão [kN/m^2];

τ_{vd} – Valor de cálculo da tensão atuante ao corte [kN/m^2];

f_{md} – Valor de cálculo da tensão resistente à flexão [kN/m^2];

f_{vd} – Valor de cálculo da tensão atuante à flexão [kN/m^2];

f_{mk} – Valor característico da resistência à flexão [kN/m^2];

f_{vk} – Valor característico da resistência ao corte [kN/m^2];

k_{mod} – Fator de modificação da resistência em função da duração da carga;

γ_M – Fator parcial para as propriedades do material;

M_{sd} – Valor de cálculo no momento [kN/m];

V_{sd} – Valor de cálculo do esforço transversal [kN];

I_y – Cálculo do momento de inércia [m^4];

p – Carregamento da viga [kN/m];

l – Vão da viga [m].

Adotou-se a Classe de serviço 2 para a determinação do k_{mod} , considerando que o local apresenta um teor de humidade dos materiais de 20°C e uma humidade relativa do ar ambiente que excede os 85% em algumas semanas do ano. Desta forma, foi obtido o valor de 0,6 para uma ação de duração permanente para cargas permanentes, como o peso próprio das vigas e respetivo revestimento, e de 0,8 para cargas de média duração, como a sobrecarga, visto que se trata de uma situação intermédia de duração de carga, ver tabela 5.3.

Tabela 5. 2 - Valores de Kmod, Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).

Material	Standard	Service class	Load-duration class				
			Permanent action	Long term action	Medium term action	Short term action	Instantaneous action
Solid timber	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Glued laminated timber	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	EN 636 Part 1, Part 2, Part 3 Part 2, Part 3 Part 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Particle-board	EN 312 Part 4, Part 5 Part 5 Part 6, Part 7 Part 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Fibreboard, hard	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 or 2 HB.HLA1 or 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Fibreboard, medium	EN 622-3 MBH.LA1 or 2 MBH.HLS1 or 2 MBH.HLS1 or 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80
Fibreboard, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80

Para o valor do coeficiente γ_M , para a madeira maciça, o valor definido no Eurocódigo 5 (EN 1995:2004), é de 1,3, ver tabela 5.3.

Tabela 5. 3 - Valores para o coeficiente parcial γ_M , segundo o Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).

Fundamental combinations:	
Solid timber	1,3
Glued laminated timber	1,25
LVL, plywood, OSB,	1,2
Particleboards	1,3
Fibreboards, hard	1,3
Fibreboards, medium	1,3
Fibreboards, MDF	1,3
Fibreboards, soft	1,3
Connections	1,3
Punched metal plate fasteners	1,25
Accidental combinations	1,0

5.3. ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO

Os valores limite recomendados pelo Eurocódigo 5 (EN 1995:2004), para vigas apoiadas com vão, l , para a deformação instantânea e a longo prazo, são os seguintes, ver figura 5.3.

	$u, inst$	$u, final$
Vigas	$l/300$ a $l/500$	$l/150$ a $l/300$

Legenda 5. 3 - Valores limites para deformações de vigas.

Quanto à vibração, em pavimentos residenciais, deve ser assegurado que as ações permanentes e variáveis não provoquem vibrações que possam prejudicar o funcionamento da estrutura, devendo cumprir três critérios estabelecidos pelo Eurocódigo 5 (EN 1995:2004):

- A frequência fundamental, f_1 , deverá ser superior a 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz);
- A deformação vertical instantânea máxima, w , ($\frac{w}{F} \leq a$);
- O valor máximo da velocidade de vibração vertical do piso, v , causada por um impulso unitário ($v \leq b(f_1 \times \xi^{-1})$);

Os valores das constantes a e b , são definidos no EC5, parte 1.1.

5.3.1. DEFORMAÇÃO INSTANTÂNEA

A deformação da estrutura pode ser calculada com base na deformação instantânea, $w, inst$, composta pela combinação característica de ações, $u, inst, G$ e $u, inst, Q$. Assim, o cálculo da deformação instantânea é expresso da seguinte forma:

$$u, inst = u, inst, G + u, inst, Q \text{ [m]} \quad (19)$$

$$u, inst = \frac{5 \times G \times l^4}{384 \times EI} + \frac{5 \times Q \times l^4}{384 \times EI} \text{ [m]} \quad (20)$$

5.3.2. DEFORMAÇÃO A LONGO PRAZO

A deformação a longo prazo é calculada pela combinação característica de ações, u, fin, G e u, fin, Q .

É considerado um fator de deformação, k_{def} , em função da classe de serviço 2 de 0,8, de acordo com o Eurocódigo 5, e um fator para o valor quase permanente das ações variáveis, φ_2 de 0,3, de acordo com o Eurocódigo 0.

O cálculo da deformação a longo prazo é dado pela seguinte expressão:

$$u, fin = u, fin, G + u, fin, Q \text{ [m]} \quad (21)$$

$$u, fin = u, inst, G \times (1 + k_{def}) + u, inst, Q \times (1 + \varphi_2 \times k_{def}) \text{ [m]} \quad (22)$$

5.3.3. VIBRAÇÕES

A frequência fundamental de vibração, f_1 , é calculada em função da inércia longitudinal, $(EI)_l$ (Nm^2/m), do vão, l (m), e da massa por unidade de área, m (kg/m^2), da viga de madeira, expressa da seguinte forma:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \times l^2} \times \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \text{ [Hz]} \quad (23)$$

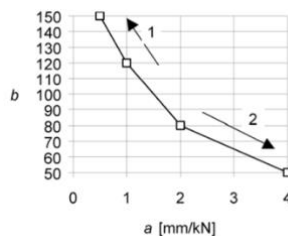
A deformação vertical instantânea máxima, w , é calculada em função de uma força estática concentrada, F , expressa da seguinte forma:

$$w = \frac{F \times l^3}{48 \times (EI)_l} \quad (24)$$

$$\frac{w}{F} = \frac{l^3}{48 \times (EI)_l} \quad (25)$$

$$\frac{w}{F} = a \text{ [mm/kN]} \quad (26)$$

Em função do valor de a , é possível relacionar com valor de b , através do seguinte gráfico, ver figura 5.4:



Legenda 5. 4 - Fig. 7.2. do Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).

O valor da velocidade de vibração vertical, v , pode ser obtido por aproximação de acordo com a seguinte expressão:

$$v = \frac{4 \times (0,4 + 0,6 \times n_{40})}{m \times b \times l + 200} [m/Ns^2] \quad (27)$$

em que,

n_{40} – Número de modos de primeira ordem com frequência naturais até 40Hz;

m – Massa (kg/m²);

b – Largura do piso (m);

l – Vão das vigas (m).

O valor de n_{40} , pode ser calculado da seguinte forma:

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \times \left(\frac{b}{l} \right)^4 \times \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (28)$$

em que,

$(EI)_l$ – Rigidez à flexão da placa equivalente do piso em torno de um eixo perpendicular à direção da viga (Nm²/m) ;

$(EI)_b$ – Rigidez à flexão da placa equivalente do piso em torno de um eixo paralelo à direção da viga (Nm²/m).

5.4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

De modo a melhorar a eficiência do cálculo da capacidade resistente do pavimento, foi utilizada uma abordagem integrada que combinou o uso de uma folha de cálculo com o software Robot Structural Analysis Professional, que permite análises estruturais.

A folha de cálculo foi fundamental para organizar e processar os dados iniciais, permitindo uma análise preliminar detalhada e, posteriormente, o cálculo da verificação de segurança da estrutura existente para o estado limite último e estado limite de utilização.

Em seguida, através do software Robot, permitiu efetuar cálculos e simulações mais rigorosas que validaram os cálculos obtidos na folha de cálculo e verificaram a integridade estrutural dos pavimentos.

Para além disso, o software Robot é capaz de realizar verificações diretas de acordo com as normas estabelecidas no Eurocódigo, incluindo a aplicação de fatores de segurança e a combinação de cargas, garantindo que os elementos estruturais atendam aos requisitos de resistência, durabilidade e estabilidade.

É importante notar que, para o cálculo da capacidade resistente da estrutura existente, não foi considerado o soalho como material estrutural, não resistindo a cargas existentes. Desta forma, apenas foi avaliada a capacidade de carga dos elementos estruturais constituintes do vigamento do pavimento, para os estados limites últimos e estados limites de serviço.

Pode-se concluir que, todas as vigas analisadas verificaram a estabilidade à rotura da estrutura para o estado limite último. Por outro lado, as vigas 3, 6 e 8 do piso 2 da zona 1, não verificaram as deformações limites a cumprir para o estado limite de serviço.

As deformações excessivas podem ser provocadas devido ao efeito da fluência da madeira, secção das vigas insuficiente e/ou espaçamento inadequado entre vigas.

Note-se que, para a verificação da capacidade resistente para o estado limite último não foi considerado o efeito do bambeamento, devido à presença de tarugos que são colocados ao longo das vigas para aumentar a sua rigidez e estabilidade. A sua presença diminui a encurvadura, contribuindo significativamente para a resistência global da viga. Para além disso, os vãos não são muito grandes e, consequentemente, a tendência ao bambeamento é naturalmente reduzida.

As tabelas 5.4 e 5.5, apresentam os cálculos realizados para a verificação da capacidade resistente das estruturas de pavimento analisadas para o estado limite último e estado limite de serviço, respetivamente.

Tabela 5. 4 - Verificação da capacidade resistente dos pavimentos para o estado limite último.

ELU							Carregamento			Combinação de ações			Tensões atuantes					Tensões resistentes		Verificação ELU (sem bamb.)	
							Peso próprio (kN/m)	Sobrecarga (kN/m2)		Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	Flexão			Corte		Flexão	Corte	Rácio	
Pavimento Piso 2	Zona	b (m)	h (m)	Esp.mento (m)	Li Influência (m)	Vão (m)	Vigas	Soalho	Soalho				Iy (m4)	Msd (kN/m)	Tm,d (Mpa)	Vsd (kN)	Tv,d (Mpa)	fm,d (Mpa)	fv,d (Mpa)	Flexão	Corte
Viga 1	1	0,150	0,150	0,100	0,445	3,820	0,111	0,033	2,000	0,144	0,890	1,530	0,000025	2,791	8,423	2,922	0,220	18,000	2,400	0,468	0,092
Viga 2	1	0,170	0,160	0,790	0,735	3,790	0,171	0,055	2,000	0,226	1,470	2,510	0,000058	4,507	6,214	4,757	0,262	18,000	2,400	0,345	0,109
Viga 3	1	0,160	0,120	0,680	0,745	3,780	0,121	0,055	2,000	0,176	1,490	2,473	0,000023	4,417	11,503	4,674	0,365	18,000	2,400	0,639	0,152
Viga 4	1	0,200	0,120	0,810	0,805	3,750	0,151	0,060	2,000	0,211	1,610	2,700	0,000029	4,746	9,888	5,062	0,316	18,000	2,400	0,549	0,132
Viga 5	1	0,170	0,150	0,800	0,975	3,790	0,161	0,073	2,000	0,233	1,950	3,240	0,000048	5,634	8,838	6,042	0,355	18,000	2,400	0,491	0,148
Viga 6	1	0,170	0,130	1,150	0,965	3,700	0,139	0,072	2,000	0,211	1,930	3,180	0,000031	5,442	11,364	5,883	0,399	18,000	2,400	0,631	0,156
Viga 7	1	0,150	0,160	0,780	0,710	3,680	0,151	0,053	2,000	0,204	1,420	2,405	0,000051	4,072	6,362	4,426	0,277	18,000	2,400	0,353	0,115
Viga 8	1	0,140	0,140	0,640	0,605	3,660	0,097	0,045	2,000	0,142	1,210	2,007	0,000019	3,360	12,473	3,672	0,318	18,000	2,400	0,693	0,133
Viga 9	1	0,150	0,150	0,570	0,285	3,640	0,111	0,021	2,000	0,133	0,570	1,034	0,000025	1,712	5,168	1,882	0,142	18,000	2,400	0,287	0,059
Pavimento Piso 2																					
Viga 1	2	0,170	0,140	0,230	0,540	3,470	0,150	0,040	2,000	0,190	1,080	1,877	0,000039	2,825	5,086	3,256	0,205	18,000	2,400	0,283	0,086
Viga 2	2	0,150	0,150	0,850	0,820	3,470	0,111	0,061	2,000	0,172	1,640	2,693	0,000025	4,053	12,231	4,672	0,352	18,000	2,400	0,580	0,147
Viga 3	2	0,190	0,120	0,790	0,810	3,470	0,144	0,060	2,000	0,204	1,620	2,705	0,000027	4,072	8,929	4,694	0,309	18,000	2,400	0,496	0,129
Viga 4	2	0,170	0,170	0,830	0,865	3,470	0,143	0,064	2,000	0,207	1,730	2,875	0,000041	4,327	8,971	4,988	0,293	18,000	2,400	0,498	0,122
Viga 5	2	0,180	0,130	0,900	0,800	3,470	0,147	0,060	2,000	0,207	1,600	2,679	0,000033	4,033	7,954	4,649	0,298	18,000	2,400	0,442	0,124
Pavimento Piso 3																					
Viga 1	1	0,080	0,220	0,110	0,375	3,820	0,111	0,028	2,000	0,139	0,750	1,312	0,000071	2,394	3,709	2,507	0,214	18,000	2,400	0,206	0,089
Viga 2	1	0,080	0,220	0,640	0,605	3,800	0,111	0,045	2,000	0,156	1,210	2,025	0,000071	3,655	5,665	3,848	0,328	18,000	2,400	0,315	0,137
Viga 3	1	0,080	0,220	0,570	0,285	3,780	0,111	0,021	2,000	0,132	0,570	1,033	0,000071	1,846	2,860	1,953	0,166	18,000	2,400	0,159	0,069

Tabela 5. 5 - Verificação da capacidade resistente dos pavimentos para o estado limite de serviço.

ELS										Carregamento		Combinação de ações			Cálculo da inércia			Deformação instantânea			Verificação			Deformação a longo prazo			Verificação		Vibração		
										Peso próprio (kN/m)		Sobrecarga (kN/m2)		Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	y	Iy	u _{inst,G} (m)	u _{inst,Q} (m)	u _{inst,final} (m)	L/300	u _{fin,G} (m)	u _{fin,Q} (m)	u _{fin,final} (m)	L/200	Frequência > 8Hz				
Pavimento Piso 2										Zona	b (m)	h (m)	Espaço entre (m)	Influência (m)	Vão (m)	Vigas	Soalho	Soalho													
Viga 1										1	0,150	0,150	0,100	0,445	3,820	0,111	0,033	2,000	0,144	0,890	1,479	0,075	2,485E-05	1,465E-03	9,027E-03	0,010	0,012733333	0,00234	1,065E-02	0,0130	0,0191
Viga 2										1	0,170	0,160	0,790	0,735	3,790	0,171	0,055	2,000	0,226	1,470	2,431	0,08	0,0000580	9,514E-04	6,187E-03	0,007	0,012633333	0,00152	7,301E-03	0,0088	0,01895
Viga 3										1	0,160	0,120	0,680	0,745	3,780	0,121	0,055	2,000	0,176	1,490	2,411	0,06	0,0000230	1,850E-03	1,563E-02	0,017	0,0126	0,00296	1,844E-02	0,0114	0,0189
Viga 4										1	0,200	0,120	0,810	0,805	3,750	0,151	0,060	2,000	0,211	1,610	2,626	0,06	0,0000288	1,716E-03	1,309E-02	0,015	0,0125	0,00275	1,544E-02	0,0182	0,01875
Viga 5										1	0,170	0,150	0,800	0,975	3,790	0,161	0,073	2,000	0,233	1,950	3,158	0,075	0,0000478	1,118E-03	9,345E-03	0,010	0,012433333	0,00179	1,103E-02	0,0128	0,01865
Viga 6										1	0,170	0,130	1,150	0,965	3,700	0,139	0,072	2,000	0,211	1,930	3,106	0,065	0,0000311	1,504E-03	1,376E-02	0,015	0,012333333	0,00241	1,623E-02	0,0136	0,0186
Viga 7										1	0,150	0,160	0,780	0,710	3,680	0,151	0,053	2,000	0,204	1,420	2,334	0,08	0,0000512	8,651E-04	6,021E-03	0,007	0,012266667	0,00138	7,105E-03	0,0085	0,0184
Viga 8										1	0,140	0,140	0,640	0,605	3,660	0,097	0,045	2,000	0,142	1,210	1,957	0,07	0,0000189	1,599E-03	1,363E-02	0,015	0,0122	0,00258	1,608E-02	0,0186	0,0186
Viga 9										1	0,150	0,150	0,570	0,285	3,640	0,111	0,021	2,000	0,133	0,570	0,988	0,075	0,0000249	1,108E-03	4,766E-03	0,006	0,012133333	0,00177	5,624E-03	0,0074	0,0182
Pavimento Piso 2																															
Viga 1										2	0,170	0,140	0,230	0,540	3,470	0,150	0,040	2,000	0,190	1,080	1,810	0,07	0,0000389	8,393E-04	4,768E-03	0,006	0,011566667	0,00134	5,626E-03	0,0070	0,01735
Viga 2										2	0,150	0,150	0,850	0,820	3,470	0,111	0,061	2,000	0,172	1,640	2,632	0,075	0,0000249	1,190E-03	1,133E-02	0,013	0,011566667	0,00190	1,336E-02	0,0153	0,01735
Viga 3										2	0,190	0,120	0,790	0,810	3,470	0,144	0,060	2,000	0,204	1,620	2,634	0,06	0,0000274	1,779E-03	1,016E-02	0,011	0,011566667	0,00205	1,199E-02	0,0140	0,01735
Viga 4										2	0,170	0,170	0,830	0,865	3,470	0,143	0,064	2,000	0,207	1,730	2,802	0,085	0,0000410	8,680E-04	7,242E-03	0,008	0,011566667	0,00139	8,545E-03	0,0099	0,01735
Viga 5										2	0,180	0,130	0,900	0,800	3,470	0,147	0,060	2,000	0,207	1,600	2,679	0,085	0,0000333	9,421E-04	4,687E-03	0,006	0,011566667	0,00151	5,531E-03	0,0070	0,01735
Pavimento Piso 3																															
Viga 1										1	0,080	0,220	0,110	0,375	3,820	0,111	0,028	2,000	0,139	0,750	1,264	0,11	0,0000710	4,928E-04	2,663E-03	0,003	0,012733333	0,00079	3,142E-03	0,0039	0,0191
Viga 2										1	0,080	0,220	0,640	0,605	3,800	0,111	0,045	2,000	0,156	1,210	1,971	0,11	0,0000710	5,420E-04	4,207E-03	0,005	0,012666667	0,00087	4,964E-03	0,0058	0,019
Viga 3										1	0,080	0,220	0,570	0,285	3,780	0,111	0,021	2,000	0,132	0,570	0,987	0,11	0,0000710	4,497E-04	1,940E-03	0,002	0,0126	0,00072	2,290E-03	0,0030	0,0189

As tabelas 5.4 e 5.5, encontram-se representadas no Anexo II para melhor perceção.

No capítulo 6, apresenta-se uma proposta de reabilitação para o reforço e reabilitação dos pavimentos, com o objetivo de assegurar que os elementos estruturais da obra reabilitada atendam aos limites de segurança exigidos.

6

PROPOSTA DE INTERVENÇÃO ESTRUTURAL

6.1. OBJETO

Através da proposta de intervenção, pretende-se destacar a importância da utilização contínua dos edifícios históricos para garantir a sua durabilidade e valorização pela comunidade. Especificamente, as estruturas históricas de madeira devem ser restauradas para preservar a sua integridade e valor histórico.

No entanto, essa restauração deve ser acompanhada por um processo de atualização do edifício como um todo. Isso significa que a metodologia de reabilitação precisa de ser planeada e executada de forma integrada com o processo de restauração das estruturas históricas.

A combinação dessas duas abordagens – restauração e atualização – é essencial para garantir que os edifícios históricos permaneçam funcionais e atendam às exigências contemporâneas de habitabilidade, segurança e eficiência energética.

Reabilitar edifícios patrimoniais, introduzindo características contemporâneas, é uma tarefa complexa e multifacetada e deverá exigir, na sequência de aprovação do seu projeto de arquitetura, a entrega de muitos projetos de especialidades, nomeadamente (Freitas, 2012):

- a) Estabilidade, escavação e contenção periférica;
- b) Abastecimento de água;
- c) Drenagem de águas pluviais;
- d) Ventilação e exaustão de fumos e gases de combustão;
- e) Segurança contra incêndio;
- f) Estudo de comportamento térmico – Projeto de térmica;
- g) Estudo de comportamento acústico – Projeto de acústica;
- h) Instalações mecânicas de climatização;
- i) Arranjos exteriores;
- j) Alimentação e distribuição de energia elétrica;
- k) Instalações telefónicas e telecomunicações;
- l) Instalações eletromecânicas;
- m) Sistema de deposição de resíduos.

A conservação da madeira existente em edifícios é fundamental para a manutenção da sua autenticidade e integridade e, por isso, o ICOMOS refere que cada intervenção deve ser proporcionada aos objetivos de segurança definidos, devendo limitar-se a uma intervenção mínima que garanta a segurança e a durabilidade, com os menores danos possíveis para o valor patrimonial (ICOMOS V. F., 2003).

Uma ação de intervenção deve ser precedida de um estudo de inspeção e levantamento, previamente realizados, e através do diagnóstico deverá ser possível, identificar a origem das anomalias e sustentar devidamente essas ações de intervenção. As ações de intervenção poderão ser de:

- a) **Reabilitação**, consiste no processo de adaptar uma construção ou estrutura para um novo uso ou função, sem comprometer as partes que são significativas para o seu valor histórico. Na reabilitação, a estrutura é modificada, para que esta volte a adquirir a capacidade de trabalho que lhe foi conferida inicialmente, mantendo a integridade e autenticidade do edifício;
- b) **Reforço**, consiste em realizar ações para aumentar a capacidade resistente da estrutura existente. Essas ações são, frequentemente, necessárias em edifícios antigos que se encontram danificados, subdimensionados ou sujeitos a novas exigências de uso;
- c) **Substituição/demolição** dos elementos, caso a capacidade de resistência mecânica dos elementos esteja comprometida, procede-se à sua substituição para garantir a integridade e segurança estrutural do edifício.

Neste estudo, apenas é abordada a metodologia de intervenção na área do comportamento estrutural do edifício e comportamento das estruturas de madeira, abordando a reabilitação da área atual de pavimento e, com o objetivo de implantação de um novo piso, pretende-se o dimensionamento de um novo piso e uma nova cobertura.

Faz-se também a proposta de uma nova cobertura, considerando que a existente não permite a sua recuperação de forma económica e, para além disso, o edifício será objeto de aumento de altura, ficando a nova cobertura integrada no novo volume do último piso, como é usual fazer-se em intervenções de reabilitação recentes em edifícios semelhantes ao estudado nesta dissertação.

Nesse sentido, são apresentadas propostas de reabilitação para os pavimentos existentes e para a reabilitação da cobertura, visando a escolha de soluções pouco intrusivas e compatíveis com o valor patrimonial, tendo em consideração as exigências mais moderadas de segurança, durabilidade e habitabilidade.

6.2. METODOLOGIA DE REABILITAÇÃO

Um dos desafios na reabilitação de edifícios antigos é a conformidade com as regulamentações atuais, que diferem significativamente das normas vigentes na época que foram construídos e, atualmente, já não se aplicam. Isso é, muitas vezes inaceitável, visto que os regulamentos foram escritos para uma tipologia de construção diferente, com aplicação de outros materiais e tecnologias.

Neste contexto, existem etapas anteriores ao desenvolvimento do projeto que devem ser realizadas para garantir que todas as características e condições do edifício sejam compreendidas antes de qualquer intervenção.

A seguir, são apresentadas as principais fases de um projeto de reabilitação, destacando que já foram previamente abordadas nos capítulos anteriores.

6.2.1. LEVANTAMENTO PRELIMINAR

Esta fase inclui várias etapas detalhadas:

- a) **Levantamento arquitetônico, estrutural e geométrico:** envolve a documentação detalhada da configuração do edifício, incluindo plantas, cortes, alçados e a identificação dos seus elementos estruturais.
- b) **Levantamento dos sistemas de construção existentes:** caracterização das fundações, estrutura, paredes externas, paredes de compartimentação internas, coberturas, fachadas, revestimentos, acabamentos, instalações hidráulicas, instalações elétricas, etc.;
- c) **Caracterização geotécnica** da fundação e solos circundantes, incluindo a avaliação dos níveis de água e a sua variação ao longo do ano.

6.2.2. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

Esta etapa é crucial no processo de reabilitação, pelo que abrange, entre outras, as seguintes atividades:

- a) Avaliação das **anomalias presentes** na construção existente, bem como a identificação das suas causas;
- b) Identificação e caracterização detalhada dos **materiais e componentes mais relevantes**, incluindo a composição das alvenarias, revestimentos e acabamentos;
- c) Definição de **soluções gerais de intervenção** destinadas a eliminar a causa das anomalias identificadas.

6.2.3. PROPOSTA DE MEDIDAS INTERVENTIVAS

Elaborar uma proposta de medidas interventivas é essencial para determinar a compatibilidade dessas soluções com a pré-existência e, consequentemente, o sucesso da obra de reabilitação tendo em vista os objetivos desejados.

No entanto, é importante referir que, por vezes, insistir na manutenção do uso anterior ao edifício pode ser uma estratégia pouco eficaz. Essa abordagem pode desperdiçar a oportunidade de revitalizar o edifício e adaptá-lo a novos usos e novas funções que podem ser mais relevantes para as exigências atuais, e que sejam compatíveis com a sua estrutura e características, explorando o seu potencial de forma mais criativa.

Essa reorientação do edifício, pode ser mais ou menos intrusiva, dependendo do projetista responsável. Em alguns casos, pequenas intervenções são suficientes para viabilizar novos usos, enquanto em outros, intervenções maiores e mais intrusivas podem ser necessárias.

Esta estratégia, pode ter implicações bastante positivas em termos de custo-benefício, pelo que, visa melhorar a eficiência da operação e manutenção futuras, resultando em economias financeiras a longo prazo.

Assim, esta etapa pretende definir o uso futuro do edifício compatível com o existente e uma metodologia de restauro/reabilitação, mais ou menos intrusiva, que cumpra os objetivos desejados previamente definidos, que permita obter uma boa relação custo-benefício para a intervenção a realizar (Faria, 2023).

6.3. TÉCNICAS DE REFORÇO LOCAL DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

No caso concreto em estudo de reabilitação de pavimentos de madeira, podem surgir abordagens distintas, entre elas:

- a) **Reparo e substituição pontual com técnicas tradicionais:** neste caso, os elementos degradados são restaurados ou substituídos utilizando métodos antigos, preservando a autenticidade histórica da estrutura;
- b) **Reparo e substituição pontual com técnicas tradicionais e conexões modernas:** os elementos degradados são restaurados ou substituídos através de métodos antigos, mas são incorporados conectores modernos que aumentam a resistência e durabilidade da solução;
- c) **Substituição integral da estrutura usando madeiras antigas e materiais modernos:** as técnicas de conexão e o design arquitetónicos buscam manter a autenticidade antiga;
- d) **Substituição integral da estrutura usando técnicas modernas:** a estrutura é totalmente substituída usando elementos de madeira, materiais e técnicas de conexão atuais.

A substituição pontual com reforço através de conexões, é a solução que melhor preserva a autenticidade da estrutura. Esta solução permite manter grande parte dos materiais e técnicas construtivas tradicionais, no entanto, soluções de substituição integral dos elementos degradados, pode ser uma opção mais vantajosa em termos de desempenho, durabilidade e custo.

Através da substituição dos elementos degradados, é possível utilizar materiais e técnicas que conferem maior resistência à estrutura, reduzindo os custos de manutenção a longo prazo. Além disso, a substituição integral permite uma maior liberdade na incorporação de elementos de conexão, que muitas vezes são condicionados pela irregularidade dos elementos estruturais pré-existentes.

Geralmente, o motivo dos problemas dos elementos estruturais que levam à necessidade de intervenção, pode dividir-se em dois grupos: de origem biótica que se traduz numa perda da secção resistente da peça de madeira provocada pela ação dos agentes xilófagos e, o segundo, está relacionado com as exigências da regulamentação de cálculo que requerem capacidade de cargas mais elevadas e uma maior limitação de deformações (F. Arriaga, 2002).

Como já foi referido anteriormente, as zonas de apoio das vigas constituem zonas críticas com alto risco de degradação, especialmente quando a madeira apresenta altos níveis de humidade. Nessas condições, a madeira torna-se suscetível a ataques de agente xilófagos, que podem causar uma redução significativa da secção resistente dos elementos estruturais.

Desta forma, de forma a garantir a segurança da estrutura, é necessário realizar ações de intervenção nos elementos estruturais, tanto na zona dos apoios, como ao longo do seu comprimento.

Neste subcapítulo, apresentam-se algumas das soluções que podem ser utilizadas para o reforço das vigas nas zonas de apoio dos pavimentos do caso de estudo.

6.3.1. INTRODUÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS DE MADEIRA

A introdução de novos elementos de madeira, é uma solução amplamente utilizada, uma vez que, permite a preservação da autenticidade da estrutura antiga.

De modo a manter as características originais dos elementos estruturais, (Dias, 2008), refere a importância dos novos elementos de madeira serem da mesma espécie e possuírem propriedades

mecânicas semelhantes às da madeira existente, o que por vezes pode ser desafiador, pela indisponibilidade das secções comerciais.

No mesmo sentido, (F. Arriaga, 2002), refere que quando não é possível encontrar peças com secção suficiente em madeira maciça, pelo que, na substituição de elementos de madeira, pode ser utilizada madeira lamelada colada (GL) ou produtos derivados de madeira de alta resistência como, madeira microlaminada (LVL) ou madeira serrada paralela (PSL).

Assim, o reforço das estruturas de madeira, pode consistir na junção de novos elementos de madeira aos existentes, como também, na substituição das peças degradadas por novas peças de madeira.

6.3.1.1. Substituição pontual com ligações tradicionais

Quando o projeto arquitetónico não altera significativamente as exigências de desempenho das estruturas, assumindo que os elementos estruturais de madeira estão em grande parte em boas condições, é aconselhável a substituição da parte degradada com ligações tradicionais.

As ligações mais antigas e, também mais presentes em toda a evolução, são as ligações madeira-madeira, designadas por ligações tradicionais de madeira.

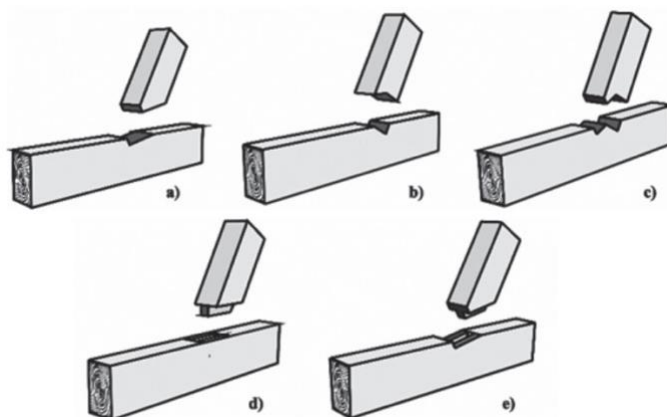
De forma a garantir a estabilidade das ligações, é realizado o seu reforço através da adição de pinos de madeira ou de elementos metálicos como, estribos, esquadros, varões e parafusos (Sara Barbosa, 2017). De notar que, todas as soluções que envolvam ligadores metálicos devem cumprir as normas regulamentares estabelecidas no EC5 (CEN, 2004).

Existem quatro grupos de tipologias de ligações tradicionais:

a) Entalhes

A estas ligações envolvem a criação de um sulco em forma de “V” nas superfícies dos elementos a serem conectados. Essas ligações podem possuir um dente simples, dente simples posterior, dente duplo, respiga e mecha e dente simples com respiga e mecha.

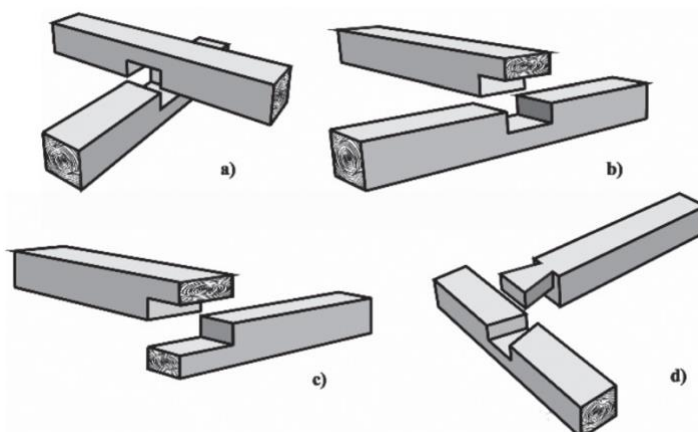
O dente duplo, combina um dente simples e um dente simples posterior, aumentando a superfície de contacto e reduzindo as tensões de compressão, melhorando assim a capacidade de carga da ligação. No mesmo sentido, a presença da respiga e mecha, proporciona um melhor encaixe e evita deslocamentos fora da ligação, ver figura 6.1.



Legenda 6. 1 - - Ligação por entalhes: a) dente simples; b) dente simples posterior; c) dente duplo; d) ligação com respiga e mecha; e) dente simples com respiga e mecha (Sara Barbosa, 2017).

b) Cruzamentos

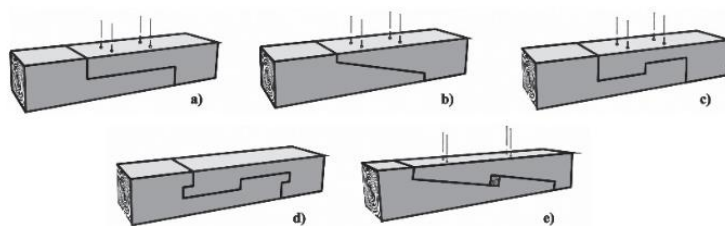
Os cruzamentos envolvem a união de dois elementos de madeira por meio de cortes, garantindo que a espessura seja equivalente à do elemento mais fino. Dependendo da forma e da localização do entalhe nos elementos, há diferentes tipo de cruzamentos, ver figura 6.2.



Legenda 6. 2 - - Cruzamentos: a) cruz a meio fio; b) meio fio de encontro; c) meio fio de ponta; d) cauda de andorinha (Sara Barbosa, 2017).

c) Empalmes

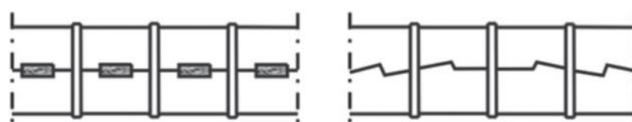
Os empalmes são utilizados para assegurar a continuidade longitudinal dos elementos de madeira, unindo-os topo a topo. As diferenças entre os empalmes estão principalmente na forma e inclinação do entalhe. Esses tipos de ligação são essencialmente projetados para suportar esforços de tração, garantindo que a força aplicada ao longo do eixo do elemento seja eficientemente transmitida de um componente para o outro, ver figura 6.3.



Legenda 6. 3 - Empalmes: a) união a meio fio; b) entalhe com ângulo; c) união a meio fio com ângulo; d) entalhe a meia madeira com entalhe; e) entalhe com ângulo e batente a meia esquadra (Sara Barbosa, 2017).

d) Acoplamentos

Os acoplamentos são formados pela sobreposição de dois ou mais elementos de madeira, o que aumenta a secção transversal do conjunto, ver figura 6.4. No entanto, muitas ligações exigem a redução da secção dos elementos o que pode resultar numa perda da capacidade resistente. Por isso, é fundamental realizar um dimensionamento adequado e garantir os níveis de segurança necessário.

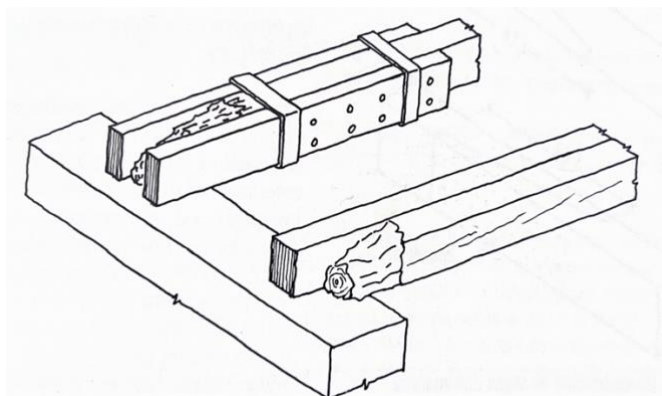


Legenda 6. 4 - Acoplamentos (Sara Barbosa, 2017).

Estas soluções são ideais quando o design arquitetónico não permite o aumento da espessura do pavimento, no entanto, são particularmente difíceis de aplicar em elementos estruturais de seções irregulares, devido à complexidade de realizar entalhes.

6.3.1.2. Fixação de novas peças de madeira às peças existentes

Esta solução consiste na fixação de duas novas peças de madeira, unindo-as com parafusos, pregos, parafusos de porca, chapas ou cintas metálicas, num troço da peça em que a madeira se encontra sã e apoiadas na parede, como representado na figura 6.5 abaixo.



Legenda 6. 5 - Reforço do apoio da viga de madeira através da incorporação de peças de madeira novas (F. Arriaga, 2002).

É recomendável que, os novos elementos de madeira tenham a mesma altura que os existentes e, quando aplicados dois elementos de madeira, a sua largura deve ser pelo menos metade da largura da viga existente de forma a garantir que, a conexão entre as novas peças de madeira permita uma correta transmissão de esforços em áreas não degradadas (Dias, 2008).

Para além disso, a conceção estrutural dos ligadores deve ser corretamente dimensionada, cumprindo as diretrizes regulamentares, dispostas no EC5. Essas considerações incluem o espaçamento, distância às extremidades da peça e redução da secção útil do elemento de madeira devido à incorporação dos mesmos.

De modo a assegurar a segurança e durabilidade da estrutura, os ligadores deverão ser devidamente protegidos contra a corrosão e o fogo. Por sua vez, os elementos de madeira novos ficarão em contacto com os elementos degradados existentes, pelo que, exigem um tratamento preservativo mais rigoroso, para evitar a propagação da degradação da madeira, muitas vezes devido à presença de agentes xilófagos que frequentemente se alastram para madeiras novas.

6.3.2. INTRODUÇÃO DE UM NOVO ELEMENTO NA PAREDE PARA APOIO DAS VIGAS

Frequentemente, como consequência do ataque por agentes xilófagos, resulta a redução da secção de apoio das vigas. Quando a peça de madeira se encontra em boas condições e, apenas, se encontra comprometida a zona de apoio das vigas, é necessário intervir para recuperar a sua estabilidade. Uma solução eficaz é a incorporação de uma nova superfície de apoio, que reforça a área danificada.

As formas mais comuns para criar esses suportes incluem a introdução de:

- a) Peças de madeira apoiadas em suportes de pedra embutidos na parede

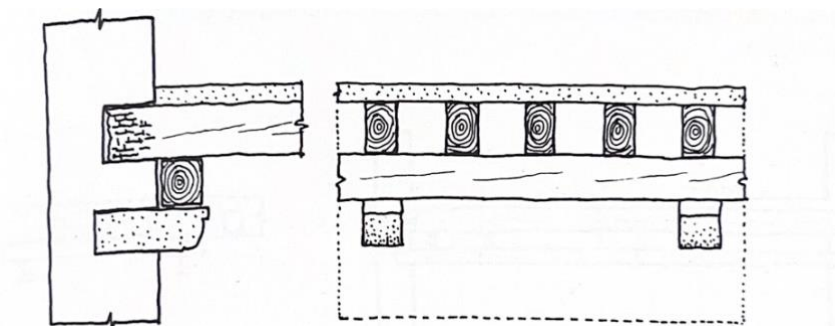
Atualmente, a instalação de um frechal de madeira sobre cachorros de pedra embutidos na parede é uma prática raramente utilizada em intervenções de reabilitação ainda que, no passado, essa solução era considerada um método construtivo tradicional e frequentemente utilizada em cobertura em que as linhas das asnas apoiavam diretamente nos cachorros de pedra.

Embora eficaz, a utilização de cachorros de pedra apresenta inconvenientes, entre eles a necessidade de realizar aberturas na parede, o que a torna bastante intrusiva. Para além disso, a carga transmitida à

parede torna-se excêntrica, gerando esforços de flexão que podem comprometer a integridade da parede, caso não apresente uma boa resistência ou a fixação do cachorro não for bem executada.

Em termos de impacto visual, os cachorros ficam expostos o que pode não ser esteticamente agradável e pode implicar o abaixamento da cota do teto devido ao aumento da espessura do pavimento, o que pode ser impraticável em espaços de altura limitada.

Uma alternativa menos invasiva consiste em ficar diretamente um novo frechal à parede utilizando parafusos ou buchas, sem comprometer a integridade das paredes existentes, ver figura 6.6.

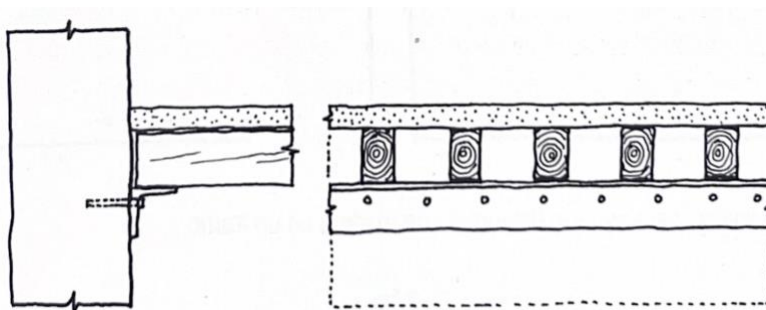


Legenda 6. 6 - Instalação de um frechal de madeira sobre cachorro de pedra embutido na parede (F. Arriaga, 2002).

b) Fixação de cantoneiras metálicas à parede

Tal como a solução anterior, a fixação de cantoneira metálicas à parede através de parafusos apresenta os mesmos inconvenientes relacionados à transmissão de cargas excêntricas. A parede precisa de ter uma boa resistência para que isso não seja um problema. Além disso, a introdução de cantoneiras pode resultar, também, no abaixamento da cota do teto, o que pode ser impraticável, como já foi referido.

É importante notar que o vigamento do pavimento de edifícios antigos nem sempre é de secção regular. Frequentemente, é necessário introduzir elementos adicionais de madeira ou metálicos para garantir a correta e eficaz fixação das vigas. Esses elementos adicionais ajudam a acomodar as irregularidades das secções das vigas, proporcionando uma base sólida para a instalação das cantoneiras, ver figura 6.7.



Legenda 6. 7 - Fixação de cantoneiras metálicas á parede (F. Arriaga, 2002).

6.3.3. INTRODUÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS NOS APOIOS DAS VIGAS

A utilização de elementos metálicos para o reforço das vigas nos apoios é bastante comum, pelo que não envolvem a remoção do material degradado e proporcionam um aumento significativo de resistência e rigidez da estrutura, além de melhorar os níveis de conforto.

No entanto esta solução apresenta alguns inconvenientes. Quando um material metálico é adicionado a uma viga de madeira para o seu reforço, a rigidez do conjunto pode não ser tão alta quanto seria de esperar, já que se trata de elementos com propriedades mecânicas diferentes, entre elas o módulo de elasticidade. O metal precisa de se deformar antes de começar a suportar cargas, o que pode levar a uma situação onde a estrutura reforçada não mantenha a rigidez esperada e, a longo prazo, resulte em deformações excessivas.

O uso de conectores adequados, por exemplo, ajuda a reduzir a deformação inicial necessária para que o metal entre em carga, distribuindo melhor as forças entre os dois materiais.

Para além disso, é necessária uma especial atenção para o uso de elementos metálicos pela sua baixa resistência ao fogo e, assim, devem ser adotadas medidas preventivas como o uso de barreiras físicas que isolam os componentes metálicos das chamas ou a aplicação de produtos ignífugos que retardam a propagação do fogo. Outro aspecto crucial na utilização de elementos metálicos é a sua proteção contra a corrosão e devem ser tratados com revestimentos protetores, como tintas anticorrosivas.

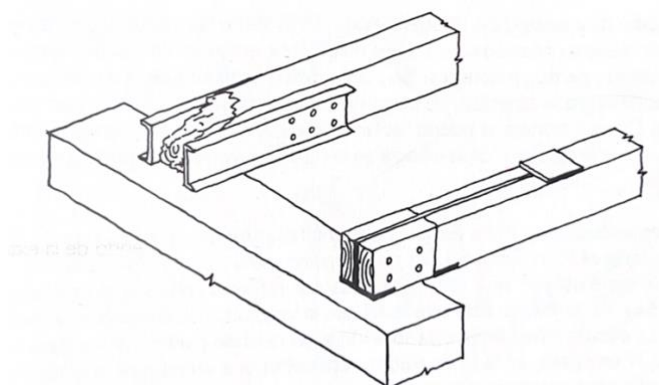
6.3.4. FIXAÇÃO DE CHAPAS OU PERFIS METÁLICOS À PARTE SÃ DA MADEIRA

A fixação de chapas ou perfis metálicos à parte sã da madeira através de parafusos de porca, à parte sã do elemento de madeira degradado, num comprimento de 50 a 80cm. A espessura de chapas a colocar varia em função do esforço de corte solicitado pela estrutura e pela capacidade resistente da peça de madeira.

Esta solução é, particularmente mais eficaz para vigas com secções regulares para permitir a o correto encaixe entre os dois materiais.

Na mesma figura 6.8, está apresentada uma solução que consiste na introdução de peças metálicas no interior dos elementos de madeira a reforçar. Esta solução requer a remoção de madeira degradada e o corte da parte sã da madeira onde vão ser introduzidos os elementos metálicos de reforço. Em seguida, vão ser aplicados elementos de madeira em cada uma das faces, de modo a proporcionar aos elementos metálicos proteção contra o fogo.

Esta solução torna-se mais eficaz que a anterior, uma vez que, os elementos metálicos passam a resistir a todas as solicitações aplicadas.

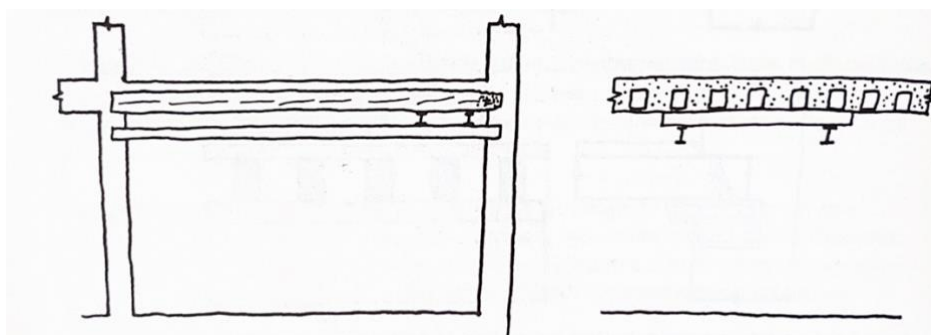


Legenda 6. 8 - Aumento do comprimento da viga por meio de perfis metálicos introduzidos no seu interior (F. Arriaga, 2002).

6.3.5. COLOCAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS SOB AS VIGAS DE MADEIRA

Esta solução consiste na aplicação de um ou mais perfis metálicos nas zonas de apoio, dependendo da extensão da degradação, ver figura 6.9. Os perfis são colocados perpendicularmente às vigas, podendo apoiar nas paredes transversais ou sobre novos perfis paralelos às vigas degradadas e que, por sua vez, apoiam nas paredes (MarcadorPosição2).

Esta solução é apenas aconselhável em situações que o aumento da espessura do pavimento devido à introdução de mais níveis de vigas, não constitua um inconveniente.



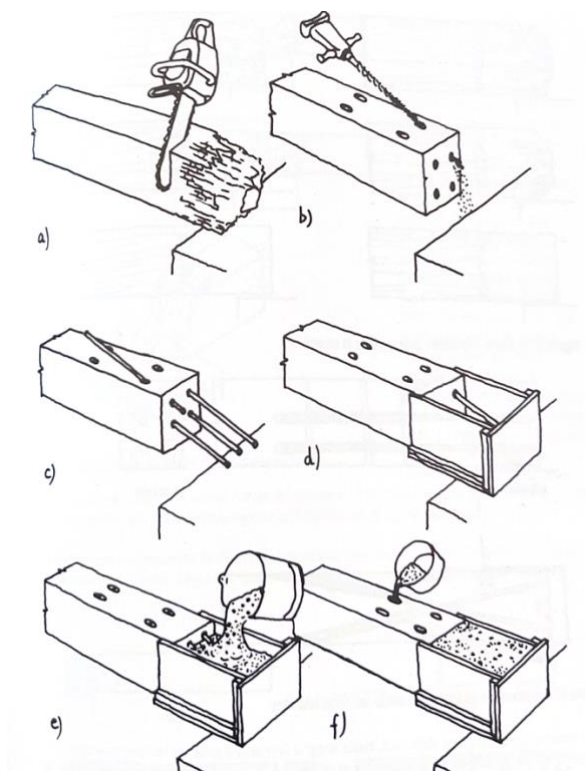
Legenda 6. 9 - Níveis de perfis metálicos a suportar os elementos degradados (F. Arriaga, 2002).

6.3.6. SOLUÇÕES COM FORMULAÇÕES EPOXI

Esta solução de intervenção nas zonas de apoio das vigas consiste, essencialmente, na substituição da parte degradada por uma argamassa epóxi que se liga à madeira sã através de varões de reforço de aço inox ou de fibras de vidro (FRP).

Quando uma parte degradada é substituída por argamassa, o novo segmento é composto por uma zona central de argamassa epoxídica, que é fixada através de varões. Esta zona central é envolta por peças de madeira, que atuam como cofragem, mas também proporcionam proteção ao fogo, ver figura 6.10.

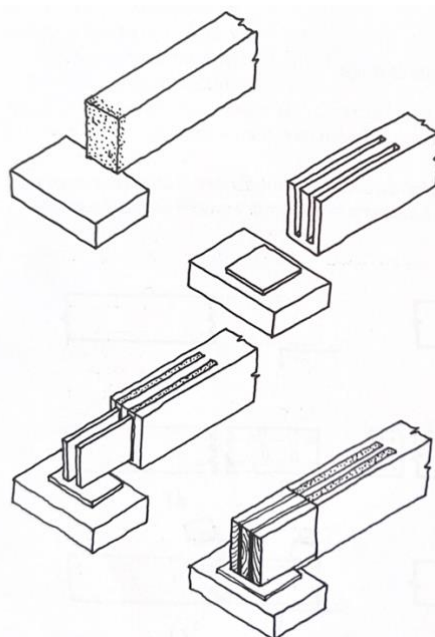
Por outro lado, se a parte deteriorada é substituída por um novo elemento de madeira, a conexão é geralmente feita com cavilhas pultrudidas de materiais compósitos ou com varões metálicos. Nesse caso, utiliza-se uma cola epoxídica para garantir uma colagem eficaz entre os elementos.



Legenda 6. 10 - Fases de consolidação de uma viga na secção de apoio através de formulações epoxídicas (F. Arriaga, 2002).

Outra solução consiste na colocação de placas metálicas ou de fibras de vidro no interior da viga, com folga e cerca de 4 mm de cada lado para que a cola epoxídica consiga penetrar. Como proteção contra o fogo, podem ser colocadas peças de madeira a recobrir as placas, ver figura 6.11.

Caso sejam utilizadas placas metálicas, os reforços possuem capacidade suficiente para, por si só, resistirem a todas as solicitações resistentes, sendo importante garantir um comprimento mínimo de ancoragem na parte sã da madeira (Dias, 2008).



Legenda 6. 11 - Reforço com chapas metálicas e cola epoxídica (F. Arriaga, 2002).

As técnicas de intervenção que utilizam materiais compósitos, apresentam diversas vantagens, entre elas, a sua aplicação *in situ*, limitando-se às partes degradadas e mantendo a aparência original das vigas. Nestas técnicas, a direção principal das fibras de compósito é alinhada segundo a direção do fio da madeira, o que confere um aumento de rigidez e de resistência à flexão.

Por outro lado, estas técnicas carecem de estudos sobre a sua durabilidade e eficácia a longo prazo das suas ligações, ainda que seja uma solução que vem a exibir um bom comportamento mecânico e uma boa aderência entre materiais. Como é referido em (ICOMOS, 1999), materiais e técnicas contemporâneas, como colas epoxídicas ou reforços metálicos, devem ser usados com cuidado e apenas quando comprovados duráveis e estruturalmente eficazes a longo prazo.

6.4. PROPOSTA DE REABILITAÇÃO DOS PAVIMENTOS

6.4.1. FICHAS RESUMO REPRESENTATIVAS DO PROPOSTO

No anexo III, apresenta-se a proposta de reabilitação dos pavimentos, composta pelas seguintes fichas:

- Anexo III.1 – Plantas estruturais da proposta de reabilitação para os pavimentos do piso 2 e 3;
- Anexo III.2 – Planta estrutural da proposta de dimensionamento do novo pavimento do piso 4.
- Anexo III.3 – Pormenores construtivos e estruturais dos pavimentos das soluções adotadas.

6.4.2. PAVIMENTOS INTERIORES

A solução adotada para a recuperação da capacidade resistente da secção de apoio das vigas devido à sua deterioração por ações dos agentes xilófagos, nomeadamente ataques por carunchos, consiste no

reforço a partir da fixação de cantoneiras metálicas à parede através de parafusos, onde posteriormente vão assentar as vigas.

Esta solução adota a aplicação de uma cantoneira L120*10 fixada na parede através de buchas químicas, atravessando parte da espessura da parede, e fixada na viga através de um parafuso autoroscante. (ver pormenores de reforço dos pavimentos de madeira, Anexo III.3).

De notar que, nos casos em que a viga se encontra com um desenvolvimento considerável da secção útil, é necessário remover essa parcela e substituí-la por uma nova peça de madeira da mesma espécie, como já foi apresentado no capítulo 6.3.1.1, para que a cantoneira seja fixa a madeira sã.

A madeira que não foi removida, deverá ser tratada com produtos de tratamento e proteção contra o ataque de agentes xilófagos, para prevenir o alastramento dos eventuais ataques ativos pré-existentes. Da mesma forma, se for aplicada uma nova peça de madeira, deve ser pré-tratada com produtos autoclave para aumentar a sua durabilidade e resistência contra esses ataques.

De igual modo, os perfis metálicos utilizados deverão ser tratados para resistir à corrosão. Este tratamento pode ser realizado por meio de aplicação de tintas epóxi, poliuretano ou outras, para proteção anticorrosiva.

No mesmo sentido, segue-se remover todo o soalho sem reaproveitamento e, de forma a resolver as deformações excessivas observadas na estrutura (capítulo 5.4.), foram colocadas vigas glulam (GL24h) entremeadas. A instalação das vigas glulam permite uma distribuição das cargas de forma mais uniforme através da regularização e diminuição do espaçamento entre vigas, especialmente nas áreas em que o estado limite de serviço não era inicialmente cumprido pelo vigamento pré-existente.

Propõe-se também a remoção e substituição de todo o soalho por painéis OSB (Oriented Strand Board) 3 ECOBOARD de 22mm de espessura que, devido à sobreposição de camadas de lâminas de madeira longas, orientadas de forma perpendicular umas às outras, forma um painel com maior resistência mecânica, especialmente em relação ao módulo de elasticidade e resistência à flexão e, consequentemente, resulta num painel com deformações mais baixas que os painéis de partículas correntes.

Posteriormente, propôs-se ainda a instalação de um soalho novo de 25mm e, nas zonas húmidas, será aplicado um revestimento cerâmico.

Por fim, com o objetivo de aumentar um piso ao edifício, propõe-se a remoção da cobertura existente e sua substituição por uma nova cobertura aplicada numa cota superior. Para suportar essa nova estrutura, foi utilizada uma viga de coroamento em betão armado, onde vão assentar as novas vigas de madeira.

A ligação entre as vigas é realizada através de chapas metálicas que envolvem as faces da viga de madeira e buchas químicas que perfuram a viga de coroamento. A ligação entre as chapas metálicas e a viga de madeira, é realizada através de uma cavilha roscada (ver pormenor de apoio dos pavimentos de madeira – piso 4, Anexo III.3).

Por sua vez, a viga de coroamento em betão armado assenta na parede de alvenaria de pedra, que deverá ser corretamente dimensionada de modo a garantir a estabilidade e integridade do conjunto estrutural ao nível das alvenarias pré-existentes.

O novo pavimento do piso 4, é constituído por vigas GL24h, espaçadas entre si de 40cm. Além disso, foram instalados de painéis OSB de 22mm, para receber revestimento flutuante ou cerâmicos nas zonas húmidas.

6.4.3. PAVIMENTOS EXTERIORES

Com o aumento do piso e dimensionamento da nova cobertura, o novo pavimento do piso 4 inclui dois pavimentos exteriores. Propôs-se para esse pavimento, a aplicação de painéis OSB de 22mm sobre as vigas de madeira, uma camada de betão leve C20/25 de 60mm, uma malhasol AQ38 e uma camada de enchimento leve de 100mm composta por 70 mm de agregado leve de argila (Leca) e 30mm de cimento. Para finalizar, propôs-se um revestimento em pedra de granito com 20mm.

De forma a melhorar o desempenho acústico propôs-se, ainda, a aplicação de uma membrana Silent Floor sobre os painéis de OSB.

O uso do betão e da camada de enchimento leve, permite criar uma superfície nivelada e ligeiramente inclinada, para permitir o escoamento eficiente das águas e evitar a acumulação de águas pluviais nessas áreas.

6.4.4. VERIFICAÇÃO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS PROPOSTOS

Com recurso a folhas de cálculo, foi realizada uma avaliação da capacidade resistente dos pavimentos, para o estado limite último e estado limite de serviço, após a implementação das intervenções anteriormente propostas, bem como o dimensionamento do novo piso.

Para os pavimentos novos interiores foram consideradas as seguintes cargas:

- Soalho (25 mm): 0,15 kN/m²;
- Ripado de madeira: 0,05 kN/m²;
- Painéis OSB (22 mm): 0,132 kN/m²;
- Tetos: 0,50 kN/m²;
- Divisórias: 0,50 kN/m².

O conjunto destas cargas totaliza um valor de G de 1,322 kN/m².

Por uma questão de simplificação, não se considerou uma estrutura mista de madeira-betão para o dimensionamento dos pavimentos novos exteriores. Em vez disso, o dimensionamento foi realizado considerando apenas a resistência das vigas às cargas aplicadas. Dessa forma, o peso do betão foi considerado como uma carga adicional de revestimento. De notar, ao adotar esta metodologia, o dimensionamento foi realizado pelo lado da segurança, ou seja, a madeira está a suportar uma carga maior do que a que estaria sujeita se o betão também estivesse a resistir estruturalmente, o que de qualquer forma implicaria uma espessura mínima de 5cm e a aplicação de conetores metálicos.

Para os pavimentos novos exteriores foram então consideradas as seguintes cargas:

- Pedra de granito (20 mm): 0,48 kN/m²;
- Enchimento leve (100 mm): 0,336 kN/m² (agregado leve de argila) + 0,63 kN/m² (cimento): 0,966 kN/m²;
- Betão leve (60 mm): 1,2 kN/m²;
- Painéis OSB (22 mm): 0,132 kN/m²;
- Tetos: 0,50 kN/m².

O conjunto destas cargas totaliza um valor de G_{ext} de 3,278 kN/m².

As tabelas 6.1 e 6.2 são referentes à verificação da capacidade resistente do piso 2, as tabelas 6.3 e 6.4 são referentes ao piso 3 e, por fim, as tabelas 6.5 e 6.6 são referentes ao dimensionamento no novo piso 4. Estas tabelas encontram-se no Anexo VI, para melhor percepção de resultados.

Pode-se concluir que, todos os pavimentos verificam a segurança à rotura da estrutura e o limite de deformações exigidas para o estado limite de serviço. Desta forma, é verificada a segurança das pessoas e da estrutura, tal como o desempenho da estrutura e dos seus elementos estruturais.

Tabela 6. 1 - Verificação da capacidade resistente do piso 2 proposto, para o estado limite último.

ELU										Verificação ELU																
Carregamento										Combinação de ações				Tensões atuantes				Tensões residuais				Verificação ELU				
Para projeto										Sobrecarga (kN/m²)		Permanente (kG)		Combinação		Flexão		Corte		Flexão		Corte		Rácio		
										Vigas	Saídas	Variação (kG)	P	Iy (mm²)	Msd (kN/m)	Tmd (Mpa)	Vsd (kN)	Tvd (Mpa)	Fvd (Mpa)	Fvd (Mpa)	Flexão	Corte				
Pavimento Piso 2																										
Viga 1	1	0.150	0.100	0.200	0.250	3.820	0.111	0.330	2	0.441	0.500	1.346	0.000025	2.455	7.409	2.570	0.194	19.200	2.560	0.386	0.778					
Viga 2		0.100	0.000	0.400	0.400	3.810	0.000	0.330	2	0.441	0.500	1.346	0.000025	2.455	7.409	2.570	0.194	19.200	2.560	0.386	0.778					
Viga 3		0.170	0.160	0.400	0.340	3.790	0.171	0.480	2	0.660	0.740	2.001	0.000028	3.592	9.453	3.791	0.209	20.000	2.560	0.258	0.082					
Viga 4		0.100	0.200	0.34	0.340	3.790	0.076	0.449	2	0.525	0.680	1.728	0.000067	3.104	4.655	3.275	0.246	15.360	1.728	0.303	0.142					
Viga 5		0.160	0.120	0.34	0.340	3.780	0.121	0.475	2	0.556	0.720	1.885	0.000023	3.366	8.767	3.562	0.278	20.000	2.560	0.457	0.109					
Viga 6		0.100	0.200	0.38	0.440	3.760	0.077	0.541	2	0.567	0.810	1.983	0.000029	3.420	8.879	3.679	0.282	15.360	1.728	0.360	0.168					
Viga 7		0.200	0.120	0.43	0.415	3.750	0.151	0.545	2	0.699	0.830	2.189	0.000029	3.847	8.015	4.104	0.256	20.000	2.560	0.417	0.100					
Viga 8	1	0.100	0.200	0.40	0.400	3.740	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.524	5.286	3.769	0.283	15.360	1.728	0.344	0.164					
Viga 9		0.170	0.150	0.40	0.490	3.730	0.161	0.647	2	0.807	0.980	2.560	0.000048	4.452	4.984	4.775	0.281	19.200	2.560	0.364	0.110					
Viga 10		0.100	0.200	0.40	0.400	3.720	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.524	5.286	3.769	0.283	15.360	1.728	0.344	0.164					
Viga 11		0.170	0.130	0.58	0.485	3.700	0.139	0.640	2	0.779	0.970	2.507	0.000031	4.250	8.960	4.638	0.315	19.200	2.560	0.467	0.123					
Viga 12		0.100	0.200	0.39	0.390	3.690	0.076	0.515	2	0.591	0.780	1.968	0.000067	3.349	5.023	3.630	0.272	15.360	1.728	0.327	0.158					
Viga 13		0.150	0.160	0.39	0.335	3.680	0.151	0.640	2	0.620	0.710	1.902	0.000051	3.219	5.030	3.499	0.219	19.200	2.560	0.262	0.085					
Viga 14		0.100	0.200	0.12	0.420	3.670	0.076	0.482	2	0.563	0.740	1.948	0.000067	3.442	4.963	0.219	0.219	15.360	1.728	0.340	0.130					
Viga 15	1	0.140	0.140	0.32	0.305	3.660	0.097	0.403	2	0.500	0.610	1.589	0.000019	2.661	9.879	2.509	0.252	19.200	2.560	0.515	0.098					
Viga 16		0.100	0.200	0.29	0.290	3.765	0.076	0.383	2	0.459	0.580	1.489	0.000067	2.639	3.959	2.804	0.210	15.360	1.728	0.258	0.122					
Viga 17		0.150	0.150	0.29	0.145	3.640	0.111	0.191	2	0.303	0.290	0.844	0.000025	1.397	4.217	1.536	0.116	20.000	2.560	0.220	0.045					
Pavimento Piso 2																										
Viga 1	2	0.170	0.140	0.200	0.305	3.470	0.150	0.403	2	0.553	0.610	1.661	0.000039	2.500	4.502	2.882	0.182	19.200	2.560	0.234	0.077					
Viga 2		0.100	0.200	0.410	0.410	3.470	0.076	0.541	2	0.617	0.820	2.063	0.000067	3.105	4.658	3.580	0.268	15.360	1.728	0.303	0.155					
Viga 3		0.150	0.150	0.410	0.400	3.470	0.111	0.328	2	0.639	0.800	2.063	0.000025	3.105	9.372	3.579	0.270	19.200	2.560	0.488	0.105					
Viga 4		0.100	0.200	0.390	0.390	3.470	0.076	0.515	2	0.591	0.780	1.968	0.000067	2.961	4.244	3.244	0.243	15.360	1.728	0.289	0.148					
Viga 5		0.190	0.120	0.390	0.405	3.470	0.144	0.355	2	0.678	0.810	2.131	0.000027	3.027	7.033	3.697	0.243	19.200	2.560	0.366	0.095					
Viga 6		0.100	0.200	0.420	0.420	3.470	0.076	0.534	2	0.630	0.840	2.111	0.000067	3.177	4.766	3.663	0.275	15.360	1.728	0.310	0.159					
Viga 7		0.170	0.170	0.420	0.435	3.470	0.143	0.574	2	0.717	0.870	2.273	0.000041	3.421	7.094	3.944	0.232	19.200	2.560	0.369	0.091					
Viga 8	2	0.100	0.200	0.450	0.470	3.470	0.076	0.598	2	0.690	0.920	2.255	0.000042	3.193	4.782	3.782	0.270	15.360	1.728	0.331	0.170					
Viga 9		0.180	0.130	0.450	0.425	3.470	0.147	0.561	2	0.708	0.850	2.231	0.000033	3.358	6.624	3.871	0.248	19.200	2.560	0.345	0.097					
Viga 10		0.100	0.200	0.400	0.395	3.470	0.076	0.521	2	0.597	0.790	1.991	0.000067	2.997	4.496	3.455	0.259	15.360	1.728	0.293	0.156					
Viga 11		0.100	0.200	0.390	0.370	3.470	0.076	0.488	2	0.564	0.740	1.872	0.000067	2.817	4.226	3.448	0.244	15.360	1.728	0.275	0.141					
Pavimento Piso 2																										
Viga 1		3	0.140	0.200	0.530	0.465	3.640	0.106	0.634	2	0.720	0.930	2.367	0.000093	3.921	4.201	4.308	0.231	15.360	1.728	0.273	0.134				
Viga 2			0.100	0.200	0.400	0.400	3.630	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.320	4.979	3.658	0.274	15.360	1.728	0.324	0.159				
Viga 3	0.100		0.200	0.400	0.400	3.620	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.301	4.952	3.648	0.274	15.360	1.728	0.322	0.158					
Viga 4	0.100		0.200	0.400	0.400	3.610	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.282	4.925	3.629	0.274	15.360	1.728	0.321	0.157					
Viga 5	0.100		0.200	0.400	0.400	3.600	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.265	4.897	3.628	0.272	15.360	1.728	0.319	0.157					
Viga 6	0.100		0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.247	4.870	3.618	0.271	15.360	1.728	0.317	0.157					
Viga 7	0.100		0.200	0.400	0.375	3.580	0.076	0.495	2	0.571	0.750	1.896	0.000067	3.037	4.556	3.394	0.255	15.360	1.728	0.297	0.147					
Pavimento Piso 2																										
Viga 1	4	0.100	0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048					
Viga 2		0.100	0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048					
Viga 3		0.100	0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048					
Viga 4		0.100	0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048					
Viga 5		0.100	0.200	0.400	0.465	3.590	0.076	0.634	2	0.690	0.930	2.326	0.000067	0.245	0.518	1.288	0.093	15.360	1.728	0.034	0.055					

Tabela 6. 2 - Verificação da capacidade resistente do piso 2 proposto, para o estado limite de serviço.

ELS						Cargamento		Combinação de ações			Cálculo da inércia			Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo			Verificação		
						Peso próprio (kN/m)		Sobrecarga (kN/m ²)	Permanente (kG)	Variáveis (Q)		Combinação p	y	Iy	u,inst.(G)	u,inst.(Q)	u,inst.final(m)	L/300	u,fin.(G)	u,fin.(m)	u,final(m)	L/200	
Pavimento Ploz 2	Zona	h (m)	h (m)	Espessura (m)	Lubrificação (m)	Vão(m)	Vigas	Saiba	Saiba														
Viga 1	1	0.150	0.150	0.100	0.250	3.820	0.111	0.130	2	0.441	0.500	1.191	0.075	2.495	2.448	0.507(6)	0.0095	0.0127	7.146(3)	3.986(3)	0.0131	0.0191	
Viga 2		0.100	0.100	0.040	0.400	3.820	0.111	0.130	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.418	2.840(3)	0.0051	0.0217	3.448(3)	1.585(3)	0.0068	0.0105	
Viga 3		0.170	0.160	0.400	0.300	3.790	0.171	0.488	2	0.604	0.800	2.2	0.1	6.676	2.781	3.116	0.0016	0.044	0.016	0.816	0.0081	0.0081	
Viga 4		0.100	0.200	0.34	0.340	3.790	0.076	0.449	2	0.525	0.688	1.545	0.1	6.676	1.821	2.366(3)	0.0042	0.0126	2.92(3)	2.79(3)	0.0057	0.0189	
Viga 5		0.140	0.120	0.34	0.360	3.780	0.121	0.475	2	0.596	0.720	1.676	0.06	2.305	2.008	2.766(3)	0.0138	0.0126	1.00(2)	8.91(3)	0.0189	0.0189	
Viga 6		0.100	0.200	0.38	0.410	3.790	0.076	0.449	2	0.617	0.820	1.847	0.1	6.676	2.088	2.766(3)	0.0045	0.0125	3.32(3)	2.60(3)	0.0066	0.0189	
Viga 7		0.200	0.130	0.43	0.415	3.750	0.151	0.448	2	0.617	0.820	1.847	0.1	6.676	2.088	2.766(3)	0.0045	0.0125	3.32(3)	2.60(3)	0.0066	0.0189	
Viga 8		0.100	0.200	0.400	0.400	3.790	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.996	2.646(3)	0.0046	0.0125	3.18(3)	3.11(3)	0.0063	0.0187	
Viga 9		0.170	0.150	0.40	0.490	3.730	0.161	0.467	2	0.808	0.988	2.278	0.075	4.785	3.873	4.706(3)	0.0086	0.0124	6.19(3)	5.54(3)	0.0117	0.01865	
Viga 10		0.100	0.200	0.38	0.380	3.750	0.076	0.780	2	0.842	1.160	2.582	0.1	6.676	2.088	3.706(3)	0.0044	0.0124	4.30(3)	4.47(3)	0.0087	0.0185	
Viga 11	1	0.170	0.170	0.139	0.305	3.790	0.171	0.488	2	0.570	0.720	1.676	0.075	2.495	2.554	3.116	0.0016	0.044	0.016	0.816	0.0081	0.0081	
Viga 12		0.100	0.200	0.39	0.390	3.690	0.076	0.515	2	0.591	0.780	1.761	0.1	6.676	1.841	2.436(3)	0.0043	0.0123	2.95(3)	2.87(3)	0.0058	0.01845	
Viga 13		0.150	0.160	0.39	0.355	3.680	0.151	0.499	2	0.620	0.710	1.685	0.08	5.125	2.633	3.016(3)	0.0056	0.0123	4.20(3)	3.55(3)	0.0078	0.0184	
Viga 14		0.100	0.202	0.32	0.320	3.670	0.076	0.422	2	0.498	0.660	1.458	0.1	6.676	1.522	1.950(3)	0.0035	0.0122	2.446(3)	2.31(3)	0.0047	0.01835	
Viga 15		0.140	0.140	0.362	0.360	3.660	0.097	0.430	2	0.510	0.710	1.415	0.1	6.676	1.631	2.017	0.0032	0.0122	3.00(3)	2.87(3)	0.0051	0.01835	
Viga 16		0.100	0.200	0.29	0.290	3.765	0.076	0.383	2	0.459	0.580	1.329	0.1	6.676	1.556	1.950(3)	0.0035	0.0126	2.48(3)	2.32(3)	0.0048	0.018825	
Viga 17		0.150	0.150	0.29	0.145	3.640	0.111	0.191	2	0.303	0.290	0.738	0.075	2.495	2.531	2.436(3)	0.0050	0.0121	4.05(3)	2.86(3)	0.0069	0.0182	
Pavimento Ploz 2	2	Viga 1	0.170	0.140	0.200	0.305	3.470	0.150	0.403	2	0.553	0.510	1.468	0.078	2.495	2.442	2.596(3)	0.0051	0.0116	3.90(3)	3.18(3)	0.0071	0.01735
Viga 2		0.100	0.200	0.410	0.410	3.470	0.076	0.541	2	0.617	0.820	1.847	0.1	6.676	1.510	2.006(3)	0.0035	0.0116	2.41(3)	2.30(3)	0.0048	0.01735	
Viga 3		0.150	0.150	0.410	0.400	3.470	0.111	0.528	2	0.639	0.800	1.839	0.075	2.495	1.421	2.503(3)	0.0099	0.0116	7.06(3)	6.52(3)	0.0136	0.01735	
Viga 4		0.100	0.200	0.390	0.390	3.470	0.076	0.528	2	0.591	0.780	1.761	0.1	6.676	1.443	1.906(3)	0.0033	0.0116	2.31(3)	2.25(3)	0.0046	0.01735	
Viga 5		0.130	0.130	0.390	0.405	3.470	0.144	0.533	2	0.678	0.806	1.893	0.06	2.745	1.421	2.003	0.0016	0.044	0.016	0.816	0.0081	0.0081	
Viga 6		0.100	0.200	0.420	0.420	3.470	0.076	0.554	2	0.630	0.840	1.880	0.1	6.676	1.541	2.056(3)	0.0036	0.0116	2.46(3)	2.42(3)	0.0049	0.01735	
Viga 7		0.170	0.170	0.420	0.435	3.470	0.143	0.574	2	0.717	0.870	2.022	0.085	4.106	3.003	3.646(3)	0.0066	0.0116	4.80(3)	4.30(3)	0.0091	0.01735	
Viga 8		0.100	0.200	0.400	0.400	3.470	0.076	0.554	2	0.670	0.900	2.020	0.1	6.676	1.644	2.206(3)	0.0038	0.0116	2.62(3)	2.59(3)	0.0052	0.01735	
Viga 9		0.130	0.130	0.420	0.447	3.470	0.143	0.581	2	0.850	0.950	2.375	0.085	4.106	3.691	4.416(3)	0.0072	0.0116	5.21(3)	4.71(3)	0.0101	0.01735	
Viga 10	2	0.100	0.200	0.400	0.395	3.470	0.076	0.521	2	0.597	0.790	1.782	0.1	6.676	1.461	1.936(3)	0.0034	0.0116	2.39(3)	2.28(3)	0.0046	0.01735	
Viga 11		0.100	0.200	0.390	0.370	3.470	0.076	0.524	2	0.564	0.740	1.674	0.1	6.676	1.381	1.811(3)	0.0032	0.0116	2.20(3)	2.13(3)	0.0043	0.01735	
Pavimento Ploz 2	3	Viga 1	0.140	0.200	0.330	0.445	3.640	0.106	0.614	2	0.720	0.930	2.115	0.1	9.335	1.521	1.966(3)	0.0035	0.0121	2.43(3)	2.32(3)	0.0047	0.0182
Viga 2		0.100	0.200	0.400	0.400	3.640	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.771	2.344(3)	0.0041	0.0121	2.81(3)	2.76(3)	0.0056	0.0181	
Viga 3		0.100	0.200	0.400	0.400	3.620	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.751	2.318(3)	0.0041	0.0121	2.79(3)	2.73(3)	0.0055	0.0181	
Viga 4		0.100	0.200	0.400	0.400	3.620	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.731	2.293(3)	0.0040	0.0120	2.76(3)	2.70(3)	0.0055	0.01805	
Viga 5		0.100	0.200	0.400	0.400	3.600	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.711	2.268(3)	0.0040	0.0120	2.74(3)	2.67(3)	0.0055	0.01805	
Viga 6		0.100	0.200	0.400	0.400	3.580	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.691	2.243(3)	0.0039	0.0120	2.70(3)	2.64(3)	0.0053	0.01795	
Viga 7		0.100	0.200	0.400	0.375	3.580	0.076	0.495	2	0.571	0.750	1.696	0.1	6.676	1.581	2.076(3)	0.0037	0.0119	2.53(3)	2.45(3)	0.0050	0.0179	
Pavimento Ploz 2	4	Viga 1	0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.441	1.906(3)	0.0000	0.0036	2.30(3)	2.24(3)	0.00045	0.00545
Viga 2		0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.441	1.906(3)	0.0000	0.0036	2.30(3)	2.24(3)	0.00045	0.00545	
Viga 3		0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.441	1.906(3)	0.0000	0.0036	2.30(3)	2.24(3)	0.00045	0.00545	
Viga 4		0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.441	1.906(3)	0.0000	0.0036	2.30(3)	2.24(3)	0.00045	0.00545	
Viga 5		0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	1.804	0.1	6.676	1.441	1.906(3)	0.0000	0.0036	2.30(3)	2.24(3)	0.00045	0.00545	

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

Tabela 6. 3 - Verificação da capacidade resistente do piso 3 proposto, para o estado limite último.

ELU							Combinação de ações										Tensões atuantes										Tensões resistentes				Verificação ELU	
							Peso próprio (kN/m²)		Sobrecarga (kN/m²)	Permanentes (g)	Combinação P	Flexão	Corte	Flexão	Corte	Flexão	Corte	Rácio														
Pavimento Piso 3	Zona	b (m)	h (m)	Espaçamento (m)	Confluência (m)	Vão (m)	Vigas	Soalho	Variações (Q)	Combinação P	f _y (mPa)	M _{Ed} (kN/m²)	T _{Ed} (kPa)	V _{Ed} (kN)	T _{Ed} (kPa)	f _{td} (kPa)	f _{cd} (kPa)	f _{td} (kPa)	f _{cd} (kPa)	Flexão	Corte											
Viga 1	1	0,08	0,22	0,11	0,215	3,82	0,111	0,2838	2	0,395	0,430	1,178	0,000071	2,148	3,329	2,250	0,192	15,20000	2,56	0,173	0,075											
Viga 2	1	0,100	0,200	0,100	0,200	3,810	0,076	0,4224	2	0,498	0,640	1,633	0,000067	2,963	4,444	3,111	0,233	15,360	1,728	0,289	0,135											
Viga 3	1	0,080	0,220	0,130	0,305	3,810	0,111	0,4026	2	0,513	0,610	1,608	0,000071	2,916	4,522	3,064	0,216	15,200	2,56	0,236	0,102											
Viga 4	1	0,100	0,200	0,290	0,290	3,800	0,076	0,3828	2	0,459	0,580	1,489	0,000067	2,688	4,032	2,830	0,212	15,360	1,728	0,263	0,123											
Viga 5	1	0,080	0,220	0,290	0,290	3,790	0,111	0,413	2	0,441	0,500	1,345	0,000071	2,415	3,743	2,549	0,217	15,200	2,56	0,195	0,085											
Viga 6	1	0,100	0,200	0,210	0,305	3,790	0,076	0,403	2	0,479	0,610	1,561	0,000067	2,788	4,182	2,950	0,221	15,360	1,728	0,272	0,128											
Viga 7	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,581	5,371	3,799	0,285	15,360	1,728	0,350	0,165											
Viga 8	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,760	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,562	5,342	3,789	0,284	15,360	1,728	0,348	0,164											
Viga 9	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,524	5,286	3,769	0,283	15,360	1,728	0,344	0,164											
Viga 10	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163											
Viga 11	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163											
Pavimento Piso 3																																
Viga 1	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,710	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,468	5,201	3,739	0,280	15,360	1,728	0,339	0,162											
Viga 2	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163											
Viga 3	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163											
Viga 4	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163											
Viga 5	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163											
Viga 6	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,524	5,286	3,769	0,283	15,360	1,728	0,344	0,164											
Viga 7	1	0,140	0,200	0,40	0,400	3,740	0,106	0,528	2	0,634	0,800	2,056	0,000093	3,596	5,852	3,846	0,206	15,360	1,728	0,251	0,119											
Pavimento Piso 3																																
Viga 1	3	0,140	0,200	0,53	0,465	3,770	0,106	0,614	2	0,720	0,930	2,367	0,000093	4,206	4,506	4,462	0,239	15,360	1,728	0,293	0,138											
Viga 2	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,581	5,371	3,799	0,285	15,360	1,728	0,350	0,165											
Viga 3	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,780	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,600	5,399	3,809	0,286	15,360	1,728	0,352	0,165											
Viga 4	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,619	5,428	3,819	0,286	15,360	1,728	0,353	0,166											
Viga 5	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,619	5,428	3,819	0,286	15,360	1,728	0,353	0,166											
Viga 6	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,638	5,457	3,829	0,287	15,360	1,728	0,355	0,166											
Viga 7	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,638	5,457	3,829	0,287	15,360	1,728	0,355	0,166											
Viga 8	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,810	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,657	5,485	3,859	0,288	15,360	1,728	0,357	0,167											
Viga 9	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,810	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,657	5,485	3,859	0,288	15,360	1,728	0,357	0,167											
Pavimento Piso 3																																
Viga 1	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,218	0,327	0,937	0,070	15,360	1,728	0,021	0,041											
Viga 2	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,223	0,334	0,947	0,071	15,360	1,728	0,022	0,041											
Viga 3	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,247	0,364	0,967	0,071	15,360	1,728	0,022	0,041											
Viga 4	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,950	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,227	0,341	0,957	0,072	15,360	1,728	0,022	0,041											
Viga 5	4	0,100	0,200	0,400	0,465	0,950	0,076	0,614	2	0,690	0,930	2,326	0,000067	0,262	0,394	1,105	0,083	15,360	1,728	0,026	0,048											

Tabela 6. 4 - Verificação da capacidade resistente para o piso 3 proposto, para o estado limite de serviço.

ELS										Carregamento		Combinação de ações		Cálculo da Inércia		Deformação instantânea		Verificação		Deformação a longo prazo		Verificação	
Pavimento Piso 3	Zona	b (m)	h (m)	Espaçamento (m)	L Influncia (m)	Vão (m)	Peso próprio (kN/m²)		Sobrecarga (kN/m²)	Permanente s (g)	Variáveis (Q)	Combinação p	y	Iy	u_inst,G (m)	u_inst,Q (m)	u_inst,final (m)	1/300	u_fin,G (m)	u_fin,Q (m)	u_fin,final (m)	u_fin,final (m)	> L/200
							Vigas	Soalho															
Viga 1	1	0,08	0,22	0,11	0,215	3,82	0,000	0,3838	2	0,284	0,430	0,9288	0,11	7,10E-05	1,01E-03	1,53E-03	0,0025	0,01273	1,61E-03	1,80E-03	0,00341	0,01910	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,100	0,210	3,810	0,076	0,4224	2	0,498	0,640	1,4584	0,1	6,67E-05	1,88E-03	2,39E-03	0,0043	0,01270	2,98E-03	2,83E-03	0,00581	0,01905	
Viga 3	1	0,080	0,220	0,120	0,310	3,810	0,111	0,4026	2	0,513	0,610	1,4248	0,11	7,10E-05	1,80E-03	2,14E-03	0,0039	0,01270	2,89E-03	2,57E-03	0,00542	0,01905	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,290	0,290	3,800	0,076	0,3828	2	0,459	0,580	1,3288	0,1	6,67E-05	1,70E-03	2,15E-03	0,0038	0,01267	2,72E-03	2,53E-03	0,00525	0,01905	
Viga 5	1	0,080	0,220	0,290	0,290	3,790	0,111	0,413	2	0,441	0,500	1,19088	0,11	7,10E-05	1,52E-03	1,72E-03	0,0032	0,01263	2,41E-03	2,03E-03	0,00446	0,01895	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,210	0,305	3,790	0,076	0,403	2	0,479	0,610	1,3936	0,1	6,67E-05	1,78E-03	2,17E-03	0,0039	0,01260	2,78E-03	2,51E-03	0,00519	0,01890	
Viga 7	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,05E-03	2,72E-03	0,0048	0,01257	3,29E-03	3,21E-03	0,00650	0,01885	
Viga 8	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,760	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,03E-03	2,69E-03	0,0047	0,01253	3,25E-03	3,18E-03	0,00643	0,01880	
Viga 9	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,99E-03	2,64E-03	0,0046	0,01247	3,18E-03	3,11E-03	0,00629	0,01870	
Viga 10	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 11	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,95E-03	2,58E-03	0,0045	0,01240	3,12E-03	3,04E-03	0,00616	0,01860	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,710	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,93E-03	2,55E-03	0,0045	0,01237	3,08E-03	3,01E-03	0,00609	0,01855	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,700	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,91E-03	2,52E-03	0,0045	0,01234	3,05E-03	2,97E-03	0,00602	0,01850	
Viga 3	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,700	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,95E-03	2,58E-03	0,0045	0,01240	3,12E-03	3,04E-03	0,00616	0,01860	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 5	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,760	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,96E-03	2,60E-03	0,0046	0,01242	3,14E-03	3,11E-03	0,00624	0,01865	
Viga 7	1	0,140	0,200	0,40	0,400	3,740	0,106	0,528	2000	0,634	0,800	1,8344	0,1	9,33E-05	1,94E-03	1,88E-03	0,0034	0,01247	2,95E-03	2,22E-03	0,00461	0,01870	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	3	0,140	0,200	0,53	0,445	3,770	0,106	0,614	2000	0,720	0,930	2,1152	0,1	9,33E-05	1,75E-03	2,26E-03	0,0040	0,01257	2,80E-03	2,37E-03	0,00547	0,01885	
Viga 2	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,05E-03	2,72E-03	0,0048	0,01257	3,29E-03	3,21E-03	0,00650	0,01885	
Viga 3	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,780	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,08E-03	2,75E-03	0,0048	0,01260	3,32E-03	3,24E-03	0,00657	0,01890	
Viga 4	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,10E-03	2,78E-03	0,0049	0,01263	3,36E-03	3,28E-03	0,00664	0,01895	
Viga 5	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,10E-03	2,78E-03	0,0049	0,01263	3,36E-03	3,28E-03	0,00664	0,01895	
Viga 6	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,12E-03	2,80E-03	0,0049	0,01267	3,39E-03	3,31E-03	0,00671	0,01900	
Viga 7	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,12E-03	2,81E-03	0,0049	0,01267	3,39E-03	3,31E-03	0,00671	0,01900	
Viga 8	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,810	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,14E-03	2,84E-03	0,0050	0,01270	3,43E-03	3,35E-03	0,00678	0,01905	
Viga 9	3	0,100	0,200	0,40	0,390	3,810	0,076	0,596	2000	0,472	0,600	1,372	0,1	6,67E-05	1,67E-03	2,13E-03	0,0038	0,01270	2,64E-03	2,51E-03	0,00519	0,01905	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,61E-06	1,01E-05	0,00002	0,00310	1,22E-05	1,19E-05	0,00002	0,00465	
Viga 2	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,94E-06	1,05E-05	0,00002	0,00313	1,27E-05	1,24E-05	0,00003	0,00470	
Viga 3	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,94E-06	1,05E-05	0,00002	0,00313	1,27E-05	1,24E-05	0,00003	0,00470	
Viga 4	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	8,28E-06	1,09E-05	0,00002	0,00317	1,30E-05	1,26E-05	0,00003	0,00475	
Viga 5	4	0,100	0,200	0,400	0,445	0,930	0,076	0,614	2000	0,690	0,930	2,0848	0,1	6,67E-05	9,46E-06	1,28E-05	0,00002	0,00317	1,51E-05	1,45E-05	0,00003	0,00470	

Tabela 6. 6 - Dimensionamento do novo piso 4, para o estado limite de serviço.

ELS						Carregamento		Combinação de ações			Cálculo da inércia			Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo			Verificação		
Novo pavimento	Zona	h (m)	h (m)	Espessura (m)	Influência (m)	Vão (m)	Peso próprio (kN/m2)		Sobrecarga (kN/m2)	Saiba	Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	Y	I	u,inst,G (m)	u,inst,Q (m)	u,inst,final (m)	l/300	u,fin,G (m)	u,fin,Q (m)	u,fin,final (m)	l/200
							Vigas	Revestimentos															
Viga 1	1	0,100	0,200	0,250	0,325	3,850	0,076	3,278	1,065	2	1,141	0,650	2,019	0,1	6,667E-05	4,049E-03	2,306E-03	0,006	0,013	6,479E-03	2,721E-03	0,0092	0,01905
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,870E-03	2,809E-03	0,008	0,013	7,792E-03	3,314E-03	0,0111	0,019
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,819E-03	2,779E-03	0,008	0,013	7,711E-03	3,279E-03	0,0110	0,01895
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,896	2	0,912	0,510	1,600	0,1	6,667E-05	3,135E-03	1,753E-03	0,005	0,013	5,015E-03	2,069E-03	0,0071	0,0189
Viga 5	1	0,100	0,200	0,110	0,240	3,780	0,076	1,332	0,320	2	0,396	0,480	1,044	0,1	6,667E-05	1,365E-03	1,650E-03	0,003	0,013	2,176E-03	1,947E-03	0,0041	0,0189
Viga 6	1	0,100	0,200	0,370	0,385	3,770	0,076	1,332	0,513	2	0,589	0,770	1,628	0,1	6,667E-05	2,003E-03	2,619E-03	0,005	0,013	3,204E-03	3,090E-03	0,0063	0,01885
Viga 7	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,760	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,049E-03	2,692E-03	0,005	0,013	3,278E-03	3,177E-03	0,0065	0,0188
Viga 8	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,006E-03	2,638E-03	0,005	0,012	3,209E-03	3,118E-03	0,0063	0,0187
Viga 9	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 10	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Novo pavimento																							
Viga 1	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,710	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,942E-03	2,552E-03	0,004	0,012	3,107E-03	3,011E-03	0,0061	0,01855
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,700	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,700	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,700	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 5	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,700	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 6	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,006E-03	2,638E-03	0,005	0,012	3,209E-03	3,118E-03	0,0063	0,0187
Viga 7	1	0,140	0,300	0,400	0,400	3,740	0,106	1,332	0,533	2	0,639	0,800	1,719	0,1	9,333E-05	1,504E-03	1,882E-03	0,003	0,012	2,407E-03	2,221E-03	0,0046	0,0187
Novo pavimento																							
Viga 1	2	0,100	0,200	0,340	0,370	3,710	0,076	3,278	1,213	2	1,289	0,740	2,288	0,1	6,667E-05	4,111E-03	2,360E-03	0,006	0,012	6,578E-03	2,785E-03	0,0094	0,01855
Viga 2	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,473E-03	2,579E-03	0,007	0,012	7,157E-03	3,044E-03	0,0102	0,0186
Viga 3	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,521E-03	2,607E-03	0,007	0,012	7,234E-03	3,077E-03	0,0103	0,01865
Viga 4	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,570E-03	2,635E-03	0,007	0,012	7,312E-03	3,110E-03	0,0104	0,0187
Viga 5	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,750	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,718E-03	2,721E-03	0,007	0,013	7,549E-03	3,211E-03	0,0108	0,01885
Viga 6	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,770	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,718E-03	2,721E-03	0,007	0,013	7,549E-03	3,211E-03	0,0108	0,01885
Viga 7	2	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,896	2	0,912	0,510	1,600	0,1	6,667E-05	3,135E-03	1,753E-03	0,005	0,013	5,015E-03	2,069E-03	0,0071	0,0189
Viga 8	2	0,100	0,200	0,110	0,255	3,790	0,076	1,332	0,340	2	0,416	0,510	1,104	0,1	6,667E-05	1,444E-03	1,772E-03	0,003	0,013	2,310E-03	2,091E-03	0,0044	0,01895
Viga 9	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 10	2	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,427	0,1	6,667E-05	1,833E-03	2,377E-03	0,004	0,013	2,964E-03	2,805E-03	0,0058	0,01905
Novo pavimento																							
Viga 1	3	0,140	0,300	0,330	0,405	3,770	0,106	1,332	0,619	2	0,726	0,930	1,981	0,1	9,333E-05	1,763E-03	2,159E-03	0,004	0,013	2,821E-03	2,666E-03	0,0055	0,01885
Viga 2	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,093E-03	2,750E-03	0,005	0,013	3,348E-03	3,245E-03	0,0066	0,0189
Viga 3	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,115E-03	2,779E-03	0,005	0,013	3,384E-03	3,279E-03	0,0067	0,01895
Viga 4	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,115E-03	2,779E-03	0,005	0,013	3,384E-03	3,279E-03	0,0067	0,01895
Viga 5	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 6	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 7	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 8	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,810	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,160E-03	2,838E-03	0,005	0,013	3,494E-03	3,349E-03	0,0068	0,01905
Viga 9	3	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,427	0,1	6,667E-05	1,833E-03	2,377E-03	0,004	0,013	2,964E-03	2,805E-03	0,0058	0,01905

6.5. DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA

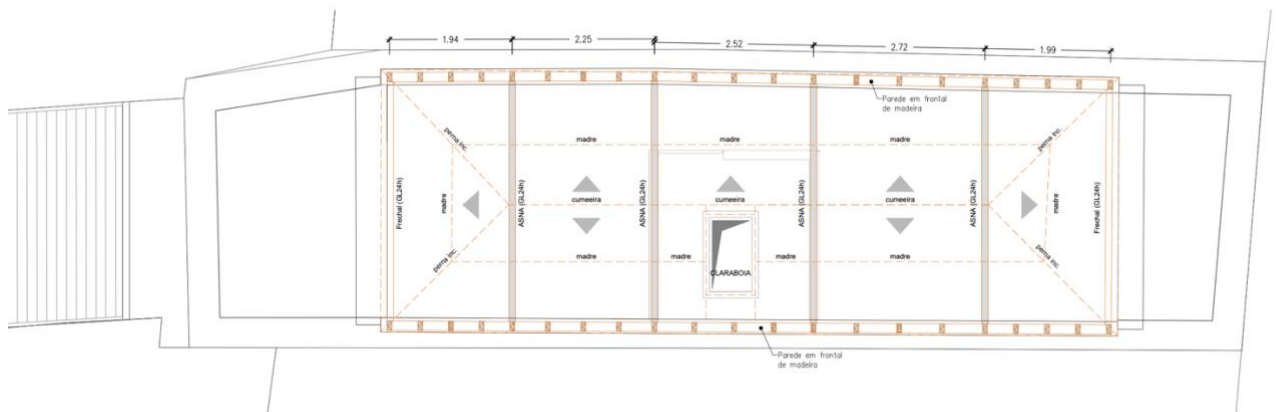
Neste subcapítulo apresenta-se e o dimensionamento de uma nova cobertura de madeira em vigas GL24H, para o edifício em estudo, no sentido da proposta de amplificação de um piso em altura.

Nesse sentido, propõe-se a elevação da cota do cumee da cobertura dos 102.13m até aos 104.20m, correspondente à cota do cumee da cobertura do edifício vizinho, o que se julga ser possível e totalmente viável licenciar na câmara municipal do Porto.

A cobertura é composta por 4 águas e totaliza, sensivelmente a altura de 1m, de onde resulta uma inclinação de 27.63°.

Quanto à sua estrutura, trata-se de uma cobertura executada em asnas simples e a sua geometria caracteriza-se por um elemento horizontal – a *linha*, duas *pernas* inclinadas de modo a formar as pendentes do telhado, um elemento vertical ao centro na ligação entre as duas pernas - *pendural* e duas *escoras*, que suportam as pernas no pendural.

A cobertura dispõe de 4 asnas com cerca de 4 m de vão cada, e com afastamentos variáveis máximos de 2,72m, conforme a figura 6.12.



Legenda 6. 12 - Planta estrutural da proposta de cobertura.

Foram pré-dimensionadas as asnas, de forma qualitativa (por pesquisa bibliográfica), tendo sido adotadas as dimensões apresentadas na tabela 6.7.

Tabela 6. 7 - Pré-dimensionamento das asnas da cobertura de madeira.

Elementos Asna	b (m)	h (m)
Madres	0.08	0.14
Pernas	0.10	0.16
Pendural	0.10	0.12
Escoras	0.10	0.12
Linha	0.10	0.16

A proposta de reabilitação da cobertura deverá satisfazer alguns requisitos, entre eles as condições térmicas, para assegurar o conforto dos seus habitantes. De forma a reduzir as perdas térmicas no inverno e no verão, é importante assegurar um isolamento térmico com um desempenho adequado.

Nesse sentido, a proposta da cobertura consiste na aplicação de um forro de madeira com 20mm de espessura, uma vez que será o elemento visível no interior da cobertura, uma tela transpirante com 0,7mm, um isolamento XPS de 10 mm e o contra ripado de madeira como suporte para posterior aplicação de telha cerâmica marselha.

No Anexo III, apresenta-se a proposta de dimensionamento da cobertura, composta pelas seguintes fichas:

- Anexo III.2 - Planta estrutural da cobertura;
- Anexo III.4 – Pormenores construtivos e estruturais da proposta adotada.

6.5.1. METODOLOGIA APLICADA

Inicialmente, através de uma folha de cálculo, foram dimensionadas as madres. Posteriormente, através do software Robot Structural Analysis, os esforços internos das asnas foram determinados através de

um modelo baseado em estruturas bidimensionais. Para o seu cálculo, foram adotados os critérios de dimensionamento dispostos no EC5 na secção dedicada a asnas.

Descrevem-se, de seguida, os valores utilizados para o dimensionamento e verificação da estrutura, previamente utilizados para o dimensionamento das vigas de pavimento em 6.4., especificados na (NP EN 1994) e no EC5, que define as propriedades físicas e mecânicas para madeira lamelada-colada, nomeadamente, da classe GL24h.

- Classe de resistência da madeira: GL24h;
- Classe de serviço: Classe 2;
- Fator de segurança: $\gamma_m = 1,25$;
- $K_{mod} = 0,8$;
- $K_{def} = 0,8$;
- $K_h = 1$;

Propriedades da classe de resistência GL24h:

- $f_{m,k} = 24$ MPa;
- $f_{t,0,k} = 16,5$ MPa;
- $f_{t,90,k} = 0,4$ MPa;
- $f_{c,0,k} = 24$ MPa;
- $f_{c,90,k} = 2,7$ MPa;
- $f_{v,k} = 2,7$ MPa;
- $E_{0,mean} = 11,6$ GPa;
- $E_{0,05} = 9,4$ GPa;
- $E_{90,mean} = 0,39$ GPa;
- $\rho_k = 380$ kg/m³.

6.5.2. DIMENSIONAMENTO DAS MADRES

As madres foram dimensionadas como vigas simplesmente apoiadas com um vão de 2,72 m, correspondente ao maior vão entre asnas. As madres encontram-se afastadas de 1,07 m entre si, coincidindo com os nós das asnas.

Assim,

- Secção das madres (bxh): 0,08x0,14 m;
- Espaçamento entre madres: 1,07 m;
- Vão: 2,72 m;
- Inclinação da cobertura: 27,67°.

6.5.2.1. Carga permanente, G

Para o dimensionamento das madres, para além do seu peso próprio, foram consideradas as seguintes cargas de revestimentos:

- Telha cerâmica: 0,45 kN/m²;
- Contra ripado de madeira: 0,10 kN/m²;
- Isolamento térmico XPS (100 mm): 0,033 kN/m²;
- Tela transpirante 150 (0,7 mm): 0,018 kN/m²;
- Forro de madeira (20 mm): 0,12 kN/m².

O conjunto destas cargas totaliza um valor de G de 0,813 kN/m².

6.5.2.2. Carga variável, Q

O valor da sobrecarga é definido pelo EC1, para a categoria H de coberturas e toma um valor de $qk = 0,4$ kN/m².

6.5.2.3. Ação do vento, W

A ação do vento foi quantificada pelo regulamento de segurança e ações (RSA) (DL235_93), dada pela seguinte expressão:

$$Pwk = wk \times \delta k \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (29)$$

em que,

wk – Pressão dinâmica do vento (kN/m²);

δk – Coeficientes de forma.

Considerou-se a Zona B e Rugosidade do tipo II para obter o valor da pressão dinâmica de $w_k = 0,84$ kN/m².

O coeficiente de forma é caracterizado pelos coeficientes de pressão exteriores, δpe , e interiores, δpi , resultantes das pressões devidas ao vento que exercem na envolvente do edifício.

A pressão exterior, δpe , foi obtida através do quadro I-II do RSA. Para obter a pressão interior, δpi , consideraram-se as quatro fachadas com permeabilidade semelhante, ver tabela 6.8.

Desta forma, a pressão exterior toma o valor mais condicionante $\delta pe = -1,0$ e a pressão interior o valor de $\delta pi = -0,3$.

Tabela 6. 8 - Coeficientes de pressão exterior e interior, respetivamente.

Relações geométricas do edifício h/b	Inclinação da vertente β (graus)	Acções globais				Acções locais			
		Direcção do vento							
		$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 90^\circ$					
		E, F	G, H	E, G	F, H	L_1	L_2	L_3	L_4
$\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	0	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4		-1,2
	20	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0			-1,2
	30	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8			-1,1
	45	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	0	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	20	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0			-1,0
	45	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	0	-0,7	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	
	5	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	20	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5			
	40	-0,2	-0,5	-0,8	-0,7	-1,0			
	50	+0,2	-0,5	-0,8	-0,7				

a) Edifícios em que seja pouco provável a existência de aberturas nas fachadas durante a ocorrência de vento intenso: em face da permeabilidade das paredes, fundamentalmente devida à insuficiência de vedação das janelas, podem considerar-se em geral duas situações, a que correspondem os seguintes coeficientes de pressão interior:

Duas fachadas opostas com permeabilidade semelhante, e as outras duas fachadas impermeáveis:

Vento normal às fachadas permeáveis $\delta_{pi} = +0,2$

Vento normal às fachadas impermeáveis $\delta_{pi} = -0,3$

As quatro fachadas com permeabilidade semelhante $\delta_{pi} = -0,3$

O coeficiente de forma é dado por $\delta k = -1,0 + (-0,3) = -1,3$ e, por fim, a ação do vento toma um valor de $Pwk = 1,09 \text{ kN/m}^2$.

6.5.2.4. Cargas atuantes

- Carga permanente, G (madres + revestimentos): $0,813 \text{ kN/m}^2$;
- Sobrecarga, Q: $0,4 \text{ kN/m}^2$;
- Ação do vento, W: $-1,09 \text{ kN/m}^2$.

6.5.2.5. Combinação de ações

- Combinação 1 – Ação variável base, Q

$$1,35 \times G + 1,5 \times S \text{ (para W negativo)} \quad (30)$$

- Combinação 2 – Ação variável base, W

$$1,00 \times G + 1,5 \times S \text{ (sucção)} \quad (31)$$

A figura 6.13, representa os valores obtidos para as combinações de ações definidas para o estado limite último, projetadas no plano perpendicular e paralelo à cobertura.

COMBINAÇÃO DE AÇÕES ELU

Combinação 1 : 1,35G+1,5S

y (paral)	0,808
z (perp)	1,540

Combinação 2 : 1G+1,5W

y (paral)	0,378
z (perp)	-1,030

Legenda 6. 13 - Combinação de ações para o estado limite último.

6.5.2.6. Esforços atuantes

A figura 6.14 apresenta os esforços atuantes nas madres para as duas combinações de ações.

ESFORÇOS ATUANTES

Combinação 1

Ped	yz (paral)	0,808	Med	yz (paral)	0,693	Ved	yz (paral)	
	zy (perp)	1,540		zy (perp)	1,322		zy (perp)	2,018

Combinação 2

Barra de fórmulas

Ped	yz (paral)	0,378	Med	yz (paral)	0,324	Ved	yz (paral)	
	zy (perp)	-1,030		zy (perp)	-0,883		zy (perp)	-1,349

Legenda 6. 14 - Esforços atuantes nas madres.

6.5.2.7. Tensões atuantes e tensões resistentes

As figuras 6.15 e 6.16 apresentam respetivamente as tensões atuantes e resistentes nas madres para as duas combinações de ações.

TENSÕES ATUANTES

Combinação 1

Tmd	yz (paral)	4,643	Tvd	yz (paral)	0
	zy (perp)	5,058		zy (perp)	0,270

Combinação 2

Tmd	yz	2,170	Tvd	yz	0
	zy	-3,380		zy	-0,181

Legenda 6. 15 - Tensões atuantes nas madres.

TENSÕES RESISTENTES

fmyd	15,36
fmzd	15,36
f _{v,d}	1,728

Legenda 6. 16 - Tensões resistentes nas madres.

6.5.2.8. Verificação ao estado limite último

A figura 6.17 apresenta a verificação do ELU nas madres para as duas combinações de ações.

VERIFICAÇÃO DO ELU

Flexão desviada

Combinação 1

$K_m \cdot (T_{myd}/f_{myd}) + (T_{mzd}/f_{mzd}) < 1$	0,541	< 1
$(T_{myd}/f_{myd}) + K_m \cdot (T_{mzd}/f_{mzd}) < 1$	0,533	< 1

Combinação 2

$K_m \cdot (T_{myd}/f_{myd}) + (T_{mzd}/f_{mzd}) < 1$	0,319	< 1
$(T_{myd}/f_{myd}) + K_m \cdot (T_{mzd}/f_{mzd}) < 1$	0,295	< 1

Corte

Tvd	0,270261333	< f _{vd}
-----	-------------	-------------------

Legenda 6. 17 - Verificação da capacidade resistente das madres para o estado limite último.

Pode-se concluir que as madres verificam para o estado limite último e, pela análise de esforços que, a combinação condicionante é a combinação 1.

Para a combinação 2, há inversão de esforços pelo que há que acautelar a ligação das madres nos apoios que garanta “amarração” nesses apoios para evitar o levantamento da cobertura por efeito do vento.

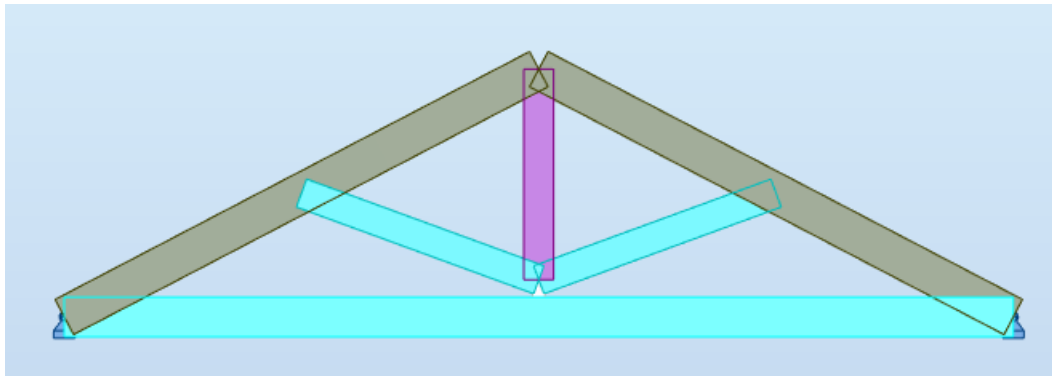
6.5.2.9. Verificação ao estado limite de serviço

A figura 6.18 apresenta a verificação do ELS nas madres, para a combinação de ações dominante.

VERIFICAÇÃO DO ELS - Deformação				
u1,inst G			0,00208	
u2,inst Q			0,00110	
uinst			0,00318	
u, final (a longo prazo)			0,0057	
Verificação EC5				
u,inst	<	L/300	0,0087	ok
u,final	<	L/250	0,0105	ok

Legenda 6. 18 - Verificação da capacidade resistente das madres para o estado limite de serviço.

6.5.3. DIMENSIONAMENTO DA ASNA



Legenda 6. 19 - Dimensionamento da asna - Robot Structural Analysis.

6.5.3.1. Cargas atuantes

Foram definidas as seguintes cargas atuantes:

- Carga permanente, G (madres+revestimentos): 0, 813 kN/m²;
- Sobrecarga, Q: 0,4 kN/m²;
- Ação do vento, W: -1,09 kN/m².

6.5.3.2. Combinações de ações

De seguida, são apresentadas as combinações de ações definidas para o estado limite último e para o estado limite de serviço.

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

- Combinação 1 – Ação variável base, Q

$$1,35 \times G + 1,5 \times S \quad (32)$$

- Combinação 2 – Ação variável base, Q

$$1,35 \times G + 1,5 \times S + 1,5 \times \psi_0 \times W^+ \quad (33)$$

- Combinação 3 – Ação variável base, W

$$1,35 \times G + 1,5 \times W^+ \quad (34)$$

- Combinação 4 – Ação variável base, W

$$1,00 \times G + 1,5 \times W^- \quad (35)$$

ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

- Combinação 5 – combinação característica de ações

$$G + Q + \psi_0 \times W^+ \quad (36)$$

- Combinação 6 – combinação característica de ações

$$G + Q + \psi_0 \times W^- \quad (37)$$

- Combinação 7 – combinação frequente de ações

$$G + \psi_1 \times W^+ \quad (38)$$

- Combinação 8 – combinação frequente de ações

$$G + \psi_1 \times W^- \quad (39)$$

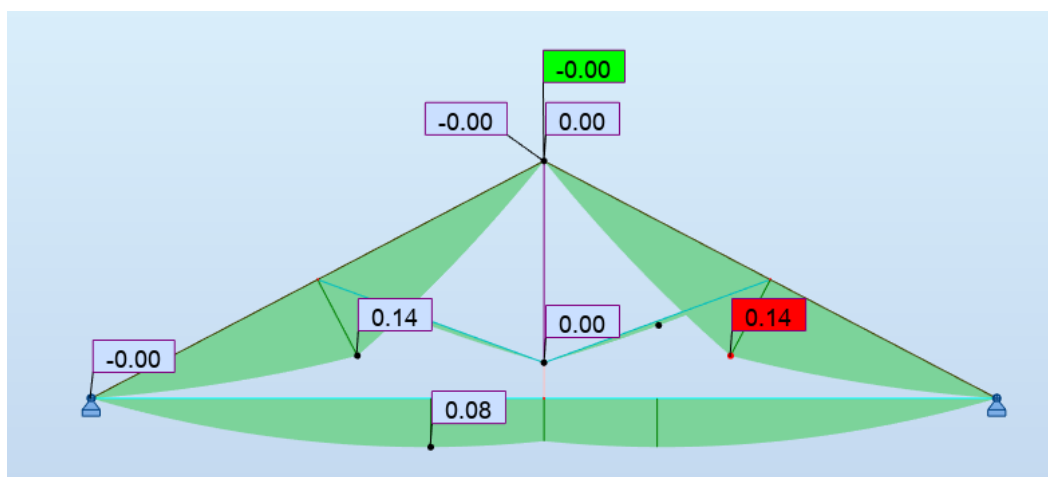
- Combinação 9 – combinação quase permanente de ações

$$G \quad (40)$$

6.5.4. MODELO DE CÁLCULO, ESFORÇOS E TENSÕES

6.5.4.1. Estado limite último – Momento fletor

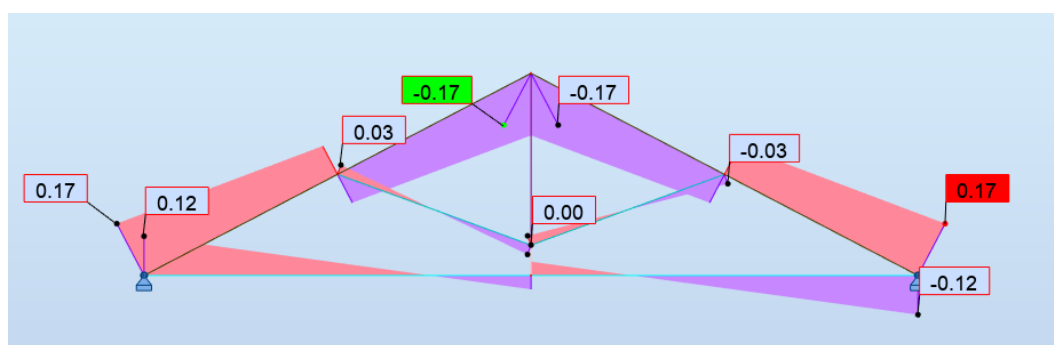
A figura 6.20 representa os momentos fletores obtidos.



Legenda 6. 20 - Momentos fletores para o estado limite último.

6.5.4.2. Estado limite último – Esforços transversos

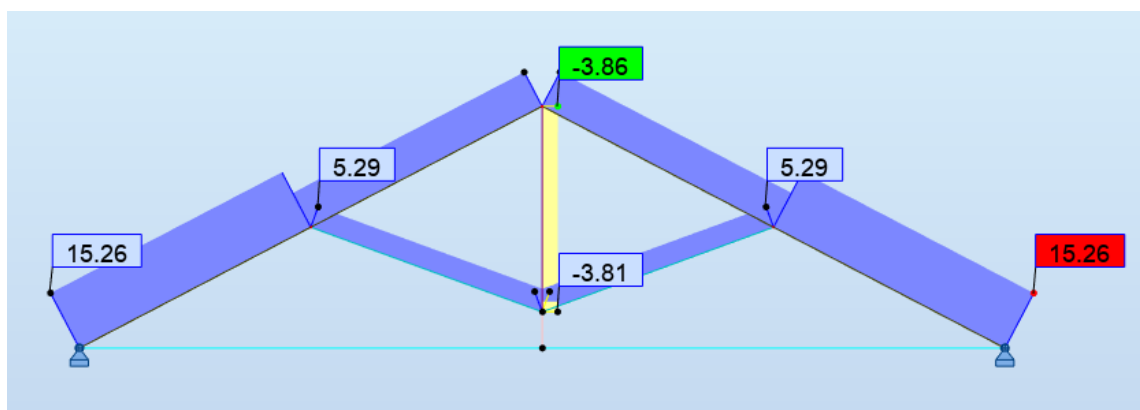
A figura 6.21 representa os esforços transversos obtidos.



Legenda 6. 21 - Esforços transversos para o estado limite último.

6.5.4.3. Estado limite último – Esforços axiais

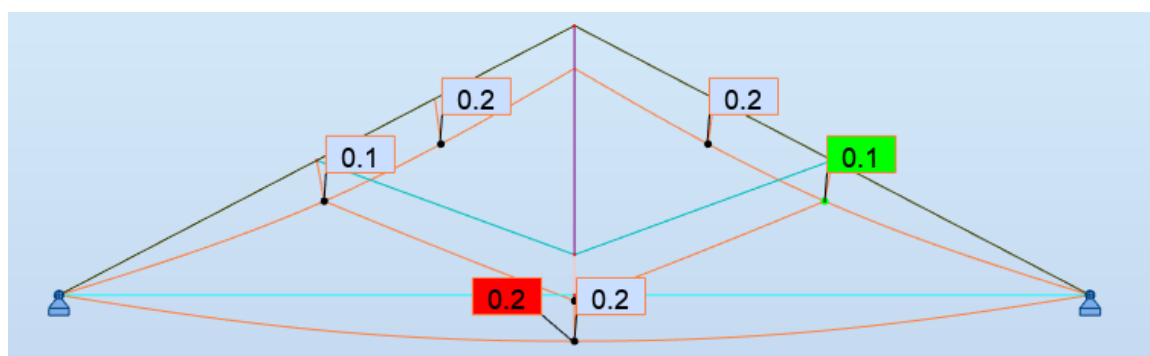
A figura 6.22 representa os esforços axiais obtidos.



Legenda 6. 22 - Esforços axiais para o estado limite último.

6.5.4.4. Estado limite de serviço – Deformações

A figura 6.23 representa as deformações obtidas.



Legenda 6. 23 - Deformações para o estado limite de serviço.

6.5.5. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE RESISTENTE DA ASNA

6.5.5.1. Estado limite último

De seguida apresentam-se as verificações ao estado limite último (ELU) dos elementos estruturais da asna.

LINHA

CODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)

ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 3 Timber Beam 2_3 POINT: 5

COORDINATE: $x = 0.50 L = 1.91 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 9 1.35G+1.5W+ (1+2)*1.35+4*1.50

MATERIAL GL24h

$g_M = 1.25$

$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 19.20 \text{ MPa}$

$f_{c,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$

$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$

$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$

$E_{0,moyen} = 11500.00 \text{ MPa}$

$E_{0,05} = 9600.00 \text{ MPa}$

$G_{moyen} = 650.00 \text{ MPa}$

Service class: 2

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: Linha 10x16

$h_t = 16.0 \text{ cm}$

$b_f = 10.0 \text{ cm}$

$t_w = 5.0 \text{ cm}$

$t_f = 5.0 \text{ cm}$

$A_y = 106.67 \text{ cm}^2$

$I_y = 3413.33 \text{ cm}^4$

$W_y = 426.67 \text{ cm}^3$

$A_z = 106.67 \text{ cm}^2$

$I_z = 1333.33 \text{ cm}^4$

$W_z = 266.67 \text{ cm}^3$

$A_x = 160.00 \text{ cm}^2$

$I_x = 3233.3 \text{ cm}^4$

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = M_Y/W_y = 0.14/426.67 = 0.33 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot -0.00/160.00 = -0.00 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 23.23 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 3.08 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_{h,y} = 1.10$

$k_{mod} = 1.10$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{eff} = 3.44 \text{ m}$

$\lambda_{rel,m} = 0.49$

$\text{Sig}_{cr} = 101.49 \text{ MPa}$

$k_{crit} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.33/23.23 = 0.01 < 1.00 \quad (6.11)$

$\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} \cdot f_{m,y,d}) = 0.33/(1.00 \cdot 23.23) = 0.01 < 1.00 \quad (6.33)$

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.00/0.67)/3.08 = 0.00 < 1.00 \quad (6.13)$

Section OK !!!

PENDURALCODE: *EN 1995-1:2004/A2:2014*ANALYSIS TYPE: *Member Verification***CODE GROUP:**MEMBER: *4 Timber Beam 2_4 POINT: 5*COORDINATE: *x = 1.00 L = 0.85 m***LOADS:**Governing Load Case: *9 1.35G+1.5W+ (1+2)*1.35+4*1.50***MATERIAL** GL24h $g_M = 1.25$ $f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$ $f_{t,0,k} = 19.20 \text{ MPa}$ $f_{c,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$ $f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$ $f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$ $f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$ $E_{0,\text{moyen}} = 11500.00 \text{ MPa}$ $E_{0,05} = 9600.00 \text{ MPa}$ $G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$

Service class: 2

 $\beta_c = 0.10$ **SECTION PARAMETERS: Pendural 10x12** $h_t = 12.0 \text{ cm}$ $b_f = 10.0 \text{ cm}$ $A_y = 80.00 \text{ cm}^2$ $A_z = 80.00 \text{ cm}^2$ $A_x = 120.00 \text{ cm}^2$ $t_w = 5.0 \text{ cm}$ $I_y = 1440.00 \text{ cm}^4$ $I_z = 1000.00 \text{ cm}^4$ $I_x = 1993.5 \text{ cm}^4$ $t_f = 5.0 \text{ cm}$ $W_y = 240.00 \text{ cm}^3$ $W_z = 200.00 \text{ cm}^3$ **STRESSES** $\sigma_{t,0,d} = N/A_x = -7.03/120.00 = -0.59 \text{ MPa}$ **ALLOWABLE STRESSES** $f_{t,0,d} = 18.59 \text{ MPa}$ **Factors and additional parameters** $k_h = 1.10$ $k_{\text{mod}} = 1.10$ $K_{\text{sys}} = 1.00$ **LATERAL BUCKLING PARAMETERS:****BUCKLING PARAMETERS:**

About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS: $\sigma_{t,0,d}/f_{t,0,d} = 0.59/18.59 = 0.03 < 1.00 \text{ (6.1)}$ *Section OK !!!*

PERNAS

CODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)

ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 5 Timber Beam 2_5 POINT: 5

COORDINATE: $x = 0.50 L = 1.08 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 9 1.35G+1.5W+ (1+2)*1.35+4*1.50

MATERIAL GL24h

$g_M = 1.25$

$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$

$E_{0,05} = 9600.00 \text{ MPa}$

$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$

$G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 19.20 \text{ MPa}$

$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$

Service class: 2

$f_{c,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$E_{0,\text{moyen}} = 11500.00 \text{ MPa}$

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: Pernas 10x16

$h_t = 16.0 \text{ cm}$

$b_f = 10.0 \text{ cm}$

$t_w = 5.0 \text{ cm}$

$t_f = 5.0 \text{ cm}$

$A_y = 106.67 \text{ cm}^2$

$I_y = 3413.33 \text{ cm}^4$

$W_y = 426.67 \text{ cm}^3$

$A_z = 106.67 \text{ cm}^2$

$I_z = 1333.33 \text{ cm}^4$

$W_z = 266.67 \text{ cm}^3$

$A_x = 160.00 \text{ cm}^2$

$I_x = 3233.3 \text{ cm}^4$

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 24.35/160.00 = 1.52 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{m,y,d} = M/W_y = 0.25/426.67 = 0.59 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot 0.20/160.00 = 0.02 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 21.12 \text{ MPa}$

$f_{m,y,d} = 23.23 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 3.08 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_h = 1.10$

$k_{h,y} = 1.10$

$k_{\text{mod}} = 1.10$

$K_{\text{sys}} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{ef} = 1.94 \text{ m}$

$\text{Lambda}_{rel m} = 0.37$

$\text{Sig}_{cr} = 179.83 \text{ MPa}$

$k_{crit} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$L_Y = 2.16 \text{ m}$

$\text{Lambda}_{rel Y} = 0.37$

$LFY = 1.08 \text{ m}$

$\text{Lambda Y} = 23.34$

$k_y = 0.57$

$k_{cy} = 0.99$

About Z axis:

$L_Z = 2.16 \text{ m}$

$\text{Lambda}_{rel Z} = 1.19$

$LFZ = 2.16 \text{ m}$

$\text{Lambda Z} = 74.68$

$k_z = 1.25$

$k_{cz} = 0.61$

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + k_m \cdot \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 1.52/(0.61 \cdot 21.12) + 0.70 \cdot 0.59/23.23 = 0.14 < 1.00 \quad (6.24)$

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + (\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} \cdot f_{m,y,d}))^2 = 1.52/(0.61 \cdot 21.12) + (0.59/(1.00 \cdot 23.23))^2 = 0.12 < 1.00 \quad (6.35)$

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.02/0.67)/3.08 = 0.01 < 1.00 \quad (6.13)$

Section OK !!!

ESCORAS

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 7 Timber Beam 2_7 POINT: 3

COORDINATE: $x = 0.50 L = 0.51 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 9 1.35G+1.5W+ (1+2)*1.35+4*1.50

MATERIAL GL24h

$g_M = 1.25$

$f_{m,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$f_{t,0,k} = 19.20 \text{ MPa}$

$f_{c,0,k} = 24.00 \text{ MPa}$

$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$

$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$

$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$

$E_{0,\text{moyen}} = 11500.00 \text{ MPa}$

$E_{0,05} = 9600.00 \text{ MPa}$

$G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$

Service class: 2

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: Escoras 10x12

$h_t = 12.0 \text{ cm}$

$b_f = 10.0 \text{ cm}$

$t_w = 5.0 \text{ cm}$

$t_f = 5.0 \text{ cm}$

$A_y = 80.00 \text{ cm}^2$

$I_y = 1440.00 \text{ cm}^4$

$W_y = 240.00 \text{ cm}^3$

$A_z = 80.00 \text{ cm}^2$

$I_z = 1000.00 \text{ cm}^4$

$W_z = 200.00 \text{ cm}^3$

$A_x = 120.00 \text{ cm}^2$

$I_x = 1900.0 \text{ cm}^4$

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 10.02/120.00 = 0.83 \text{ MPa}$

$\text{Sig}_{m,y,d} = M_y/W_y = 0.01/240.00 = 0.03 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 21.12 \text{ MPa}$

$f_{m,y,d} = 23.23 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_h = 1.10$

$k_{h,y} = 1.10$

$k_{\text{mod}} = 1.10$

$K_{\text{sys}} = 1.00$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{ef} = 0.92 \text{ m}$

$\lambda_{rel,m} = 0.23$

$\text{Sig}_{cr} = 449.86 \text{ MPa}$

$k_{crit} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$L_Y = 1.02 \text{ m}$

$\lambda_Y = 29.36$

$\lambda_{rel,Y} = 0.47$

$k_y = 0.62$

$L_{FY} = 1.02 \text{ m}$

$k_{cy} = 0.98$

About Z axis:

$L_Z = 1.02 \text{ m}$

$\lambda_Z = 35.23$

$\lambda_{rel,Z} = 0.56$

$k_z = 0.67$

$L_{FZ} = 1.02 \text{ m}$

$k_{cz} = 0.96$

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + k_m \cdot \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.83/(0.96 \cdot 21.12) + 0.70 \cdot 0.03/23.23 = 0.04 < 1.00 \quad (6.24)$

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + (\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} \cdot f_{m,y,d}))^2 = 0.83/(0.96 \cdot 21.12) + (0.03/(1.00 \cdot 23.23))^2 = 0.04 < 1.00 \quad (6.35)$

Section OK !!!

6.5.5.2. Estado limite de serviço

De seguida apresentam-se as verificações ao estado limite de serviço (ELS) dos elementos estruturais da asna.

LINHA

CODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)
ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 3 Timber Beam 2_3 POINT: 0

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 19.1 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2$

$u_{fin,z} = 0.2 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 19.1 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*5$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 12.7 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$

$u_{inst,z} = 0.1 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 12.7 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2 + 1*3 + 0.6*5$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

PENDURAL

CODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)
ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 4 Timber Beam 2_4 POINT: 0

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 4.2 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2$

$u_{fin,z} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 4.2 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*3 + (0.6+0*0.8)*5$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 2.8 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$

$u_{inst,z} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 2.8 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2 + 1*3 + 0.6*5$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

PERNASCODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 5 Timber Beam 2_5 POINT: 0

COORDINATE: $x = 0.00$ $L = 0.00$ m**LIMIT DISPLACEMENTS****Deflections (LOCAL SYSTEM):** $u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 10.8 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2$ $u_{fin,z} = 0.2 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 10.8 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.8)*4$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 7.2 \text{ mm}$ VerifiedGoverning load case: $1*1 + 1*2$ $u_{inst,z} = 0.2 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 7.2 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2 + 1*3 + 0.6*4$ **Displacements (GLOBAL SYSTEM):****Section OK !!!****ESCORAS**CODE: [EN 1995-1:2004/A2:2014](#)ANALYSIS TYPE: [Member Verification](#)

CODE GROUP:

MEMBER: 8 Timber Beam 2_8 POINT: 0

COORDINATE: $x = 0.00$ $L = 0.00$ m**LIMIT DISPLACEMENTS****Deflections (LOCAL SYSTEM):** $u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 5.1 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2$ $u_{fin,z} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 5.1 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.8)*5$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/300.00 = 3.4 \text{ mm}$ VerifiedGoverning load case: $1*1 + 1*2$ $u_{inst,z} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/300.00 = 3.4 \text{ mm}$

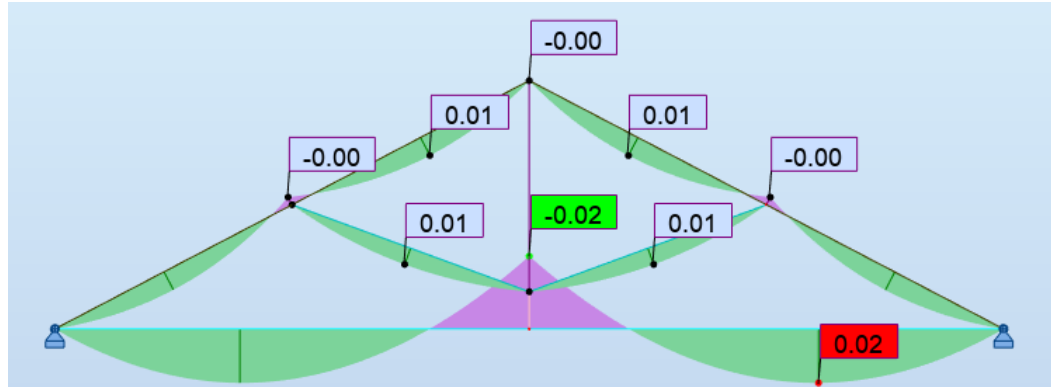
Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2 + 0.2*5$ **Displacements (GLOBAL SYSTEM):****Section OK !!!****6.5.5.3. Discussão de resultados**

Na avaliação de resultados obtidos para o estado limite último da asna, observa-se que os rácios de utilização obtidos estão bastante baixos. Isso indica que a estrutura está a utilizar apenas uma pequena fração da sua capacidade resistente para suportar as cargas aplicadas. Consequentemente, a asna encontra-se sobredimensionada, ou seja, possui uma capacidade excedente desnecessária para as exigências atuais de carga.

A análise do diagrama de momentos fletores revela que as pernas da asna apresentam apenas momentos fletores positivos. Esse comportamento é devido à elevada inclinação das escoras e ao pequeno vão da asna, o que sugere que a remoção das escoras podia ser viável sem comprometer a integridade estrutural da asna.

Através da figura 6.24 é possível verificar que quando a estrutura se encontra apenas submetida ao seu peso próprio, as escoras geram algum momento negativo, ou seja, apresentam capacidade de resistir à deformação.



Legenda 6. 24 - Momentos flettores da asna apenas submetida ao peso próprio da estrutura.

Para o estado limite de serviço, a asna também apresenta baixos níveis de deformações.

Ainda assim, decidiu-se manter as dimensões dos seus elementos por questões arquitetónicas. Este enfoque considera os elementos metálicos que serão aplicados nas ligações entre os elementos da asna, que ficaram visíveis. Ao preservar as dimensões maiores dos componentes da asna, obtém-se uma melhor harmonia visual entre a estrutura de madeira e os elementos metálicos expostos.

7

CONCLUSÕES

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É amplamente aceite hoje em dia que a salvaguarda de um edifício com valor patrimonial passa pela manutenção do seu valor tecnológico, ou seja, pela preservação dos materiais e técnicas construtivas, bem como pela extensão do funcionamento estrutural original. A pesquisa bibliográfica realizada, demonstrou a área complexa da reabilitação de edifícios antigos que integra diversas perspetivas conceptuais, estruturais, ambientais, humanas, económicas, etc.

A madeira apresenta elevada capacidade resistente que, aliada à sua durabilidade, torna este material uma excelente escolha para diversas aplicações estruturais. No entanto, é crucial considerar a sua suscetibilidade a fungos e ataques por agentes xilófagos, que comprometem a sua integridade ao longo do tempo.

A investigação desenvolvida a partir do estudo real de caso, realça a importância da fase de inspeção e diagnóstico de estruturas de madeira existentes. A inspeção visual desempenhou um papel fundamental tanto na identificação da espécie de madeira, que foi um processo amplamente apoiado pelo conhecimento técnico do especialista, como na identificação de patologias e anomalias presentes nas estruturas de madeira.

O uso de métodos não destrutivos, nomeadamente o *Resistograph*, revelou-se valioso na avaliação da capacidade resistente da madeira, uma vez que, permitiu a deteção de degradações internas/fendas/vazios e deteção de agentes xilófagos, essencialmente na secção de apoios das vigas, facilmente observáveis pelas quedas bruscas de resistência à perfuração.

Este método foi, também, utilizado no auxílio da identificação da espécie de madeira, ao correlacionar os valores de *Resistograph* obtidos com a densidade da madeira. No entanto, os resultados obtidos refletiram valores de densidade mais baixos do que os esperados para uma madeira Folhosa.

Assim, é possível concluir que este método, quando comparado a outros equipamentos de avaliação não destrutiva, é realmente o mais preciso para a determinação da densidade, no entanto, deve ser encarado essencialmente como um método de avaliação qualitativa. Para além das variações da resistência à perfuração poderem ser facilmente influenciadas por diversos fatores, como a humidade, para a obter uma maior eficácia do *Resistograph* na determinação da densidade da madeira, seria necessário realizar um trabalho exaustivo de ensaios por peça, permitindo obter resultados mais homogêneos e fiáveis da resistência à perfuração.

Nos edifícios antigos de madeira, as práticas construtivas e os critérios de dimensionamento das estruturas de madeira eram, naquela época, bastante diferentes das exigências técnicas e regulamentares

dos dias de hoje. O conhecimento empírico e a experiência dos construtores desempenhavam um papel fundamental no design e na construção. Consequentemente, o dimensionamento dos elementos estruturais de madeira não seguia um processo tão rigoroso de verificação estrutural.

O desenvolvimento deste trabalho destaca o papel essencial que a reabilitação de edifícios desempenha para garantir que os edifícios históricos permaneçam funcionais e atendam às exigências contemporâneas de habitabilidade, segurança e eficiência. Com o passar dos anos, muitos destes edifícios sofreram degradações dos seus elementos estruturais, resultando na perda de resistência e comprometendo a sua integridade. Neste trabalho, deu-se especial atenção à aplicação de técnicas de substituição pontual com reforço através de conexões, essencialmente na secção de apoio das vigas, permitindo aumentar a resistência dos elementos estruturais sem comprometer a autenticidade e o valor histórico e cultural do edifício.

Este equilíbrio entre restauração e inovação, é fundamental para garantir que os edifícios antigos continuem a ser marcos funcionais e seguros, refletindo a rica herança cultural que representam enquanto atendem às exigências contemporâneas de uso.

7.2. PERSPETIVA FUTURAS

O uso de madeira para fins estruturais continuará firmemente centrado no campo da reabilitação de edifícios antigos, no sentido da preservação e valorização do património cultural, graças às suas vantagens estruturais, de flexibilidade de design e propriedades sustentáveis.

Como já foi referido, a reabilitação de edifícios antigos é essencial para garantir a sua preservação e funcionalidade, mas a monitorização contínua dessas estruturas é igualmente essencial para assegurar a sua integridade a longo prazo, evitando a deterioração acelerada dos elementos estruturais e a necessidade de intervenções mais invasivas.

Para além disso, a monitorização permite avaliar o impacto das alterações climáticas e ambientais nessas estruturas e adaptar as estratégias de conservação conforme as necessidades.

Em termos de inovação de tecnologias nas construções em madeira, tecnologias modernas como a madeira lamelada colada (GL) e madeira lamelada cruzada (CLT) ampliaram o uso da madeira em grandes estruturas, aumentando a sua resistência, estabilidade e durabilidade. As técnicas de micro-lamelado, como a madeira folheada colada (LVL) tem vindo a ganhar popularidade devido às suas excelentes propriedades mecânicas. Embora os seus custos representem um desafio, a tendência é que a adoção de técnicas avançadas, como o micro-lameado, e de produtos industrializados como perfis de aglomerado PSL e LSL, aumente à medida que se tornem mais competitivos e as suas vantagens sejam amplamente reconhecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1990, N. E. (2009). Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas.
- 1991-1-1, N. E. (2009). Eurocódigo 1 – Acções em estruturas Parte 1-1: Acções gerais Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios.
- 1995-1-1, E. (2004). Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings.
- Arriaga, F. (2022). Prediction of the mechanical properties of timber members in existing structures using the dynamic modulus of elasticity and visual grading parameters. *Construction and Building Materials*.
- Artur Feio, P. B. (2005). Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos. *Encontro sobre a madeira e as suas aplicações nobres bem como utilizar a madeira*.
- Botelho, J. (2006). Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos . *Dissertação*.
- CEN. (2004). Eurocode 5: Design of timber structures.
- Costa, L. (2015). Fendas de secagem em vigas de madeira. Causas, efeitos na capacidade resistente e métodos de reparação. *Universidade do Minho*.
- Cruz, H. (2013). Guidelines for the On-Site Assessment of Historic Timber Structures. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*.
- Dias, T. I. (2008). Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural. *Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado*.
- DL235_93. (1991). Regulamento de segurança e ações .
- EN14081-1. (2005). Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: General requirements.
- EN338. (2009). Structural Timber - Strength classes.
- F. Arriaga, F. P. (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Espanha : AITIM.
- Faria, J. A. (2004). Reabilitação de estruturas de madeira . *2as Jornadas de Engenharia Civil do Instituto Politécnico da Guarda*.
- Faria, J. A. (2023). Methodology of rehabilitation of timber structures in historic buildings. *World Conference on Timber Engineering Oslo* .

- Faria, J. A. (2023). METHODOLOGY OF REHABILITATION OF TIMBER STRUCTURES IN HISTORIC BUILDINGS. *World Conference on Timber Engineering Oslo*, 9.
- Feio, A. O. (2004). CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES DA MADEIRA DE CASTANHO NA DIRECÇÃO PERPENDICULAR AO FIO – RECURSO A TÉCNICAS DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS DE ENSAIO .
- Freitas, V. P. (2012). *Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. OERN.
- Helena Cruz, L. N. (2002). A madeira como material de construção. *LNEC* .
- Henriques, M. D. (2012). Durabilidade, inspeção e conservação de madeira em edifícios . *Instituto superior de engenharia de lisboa* .
- ICOMOS. (1999). Princípios para a preservação das estruturas históricas de madeira . *Documentation Centre UNESCO, ICOMOS*.
- ICOMOS, V. F. (2003). Princípios para análise, conservação e restauro de elementos estruturais do património arquitectónico . *ICOMOS*.
- Ilha, J. (2021). Importância da medição nos estudos de diagnóstico . *Dissertação*.
- Italiana, N. (2003). UNI-NORMAL U84000420.
- Juan A. Martín, R. L. (2023). Biological Deterioration and Natural Durability of Wood in Europe. *Forests*.
- L. Acuña, L. A.-C. (2011). Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y la diferenciación de especies de madera. *Materiales de Construcción*.
- LNEC. (1997). Especificação de madeiras para estruturas. *Madeira para construção*.
- Mariapaola Riggio, R. W. (2013). In situ assessment of structural timber using non-destructive techniques. *Materials and Structures*.
- Nocetti, M. (2024). Mechanical properties of ancient wood structural elements assessed by visual and machine strength grading. *Construction and Building Materials*.
- NP EN 1994. (2002). Estruturas de madeira. Madeira lamelada-colada. Classes de resistência e determinação dos valores característicos. *Norma Portuguesa*.
- NP335. (2018). Durabilidade da madeira e de produtos derivados de madeira. Classes de risco: definições, aplicação à madeira maciça e a produtos derivados de madeira.
- NP335-2. (2011). Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Aplicação à madeira maciça.
- Palmeira, C. (2010). A madeira e os seus agentes de degradação.
- Raposo, P. C. (2017). Non-Destructive Structural Wood Diagnosis of a Medieval Building. *2nd International Conference on Structural Integrity*.
- República, D. d. (2023). Portaria n.º 255/2023.

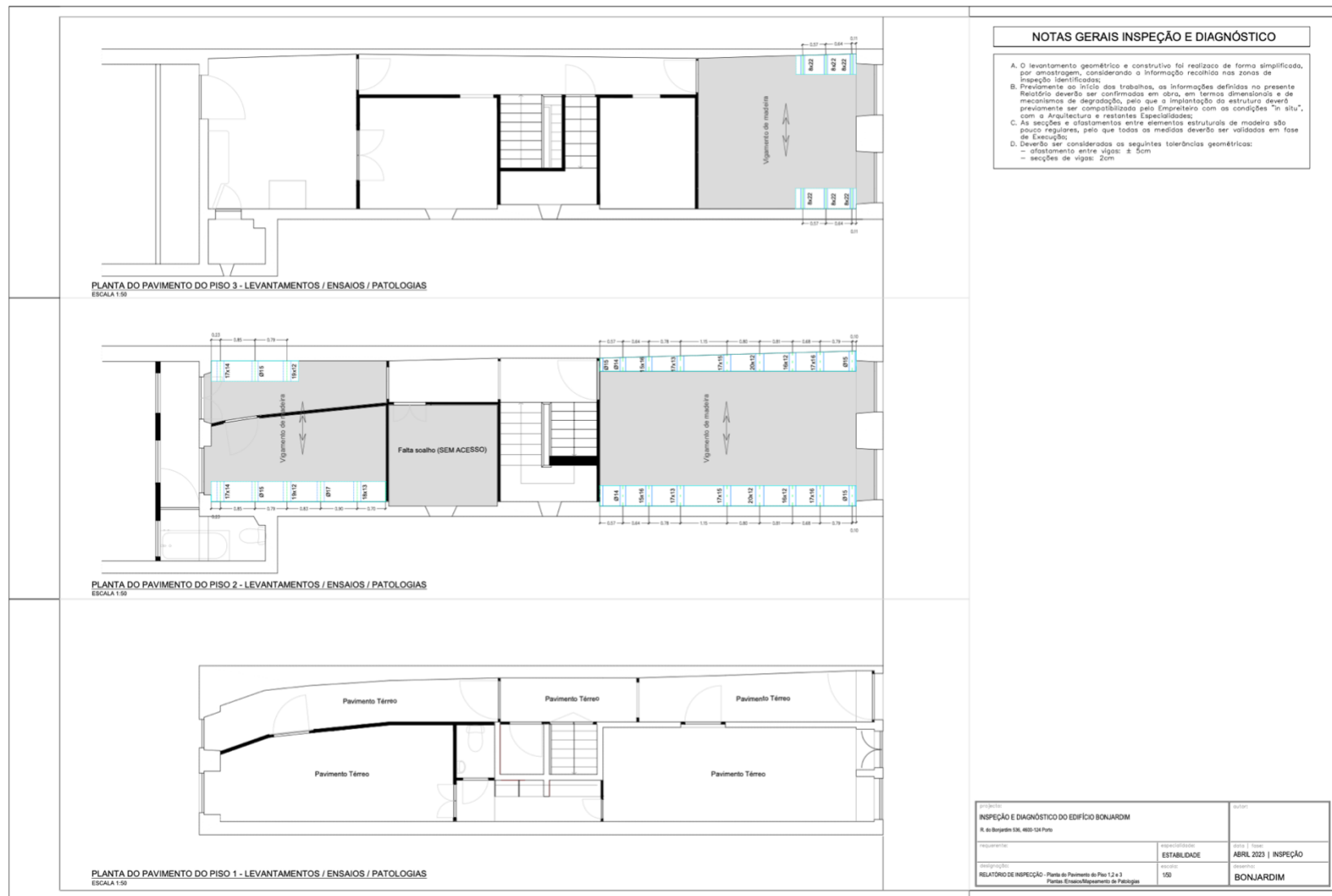
- Sánchez, G. L. (2023). Aplicación de la medición de la velocidad de ultrasonidos (sylvatest 4.0) a la caracterización de madera estructural de pino silvestre .
- Sandoz, J. L. (1989). Grading of construction timber by ultrasound. *Wood Science and Technology*.
- Sara Barbosa, J. M. (2017). Reforço de ligações tradicionais de madeira. *RPEE*.
- Saraiva, R. P. (2019). Reconstrução tridimensional em tempo real a partir de um dispositivo móvel. *Dissertação*.
- Teixeira, J. J. (2004). DESCRIÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DA CASA BURGUESA DO PORTO ENTRE OS SÉCULOS XVII E XIX.
- UNI11119. (2004). Strutture portanti degli edifici.
- UNI-NORMAL. (2003). U84000420.
- Vojtěch Ondrejka, T. G. (2021). Innovative methods of non-destructive evaluation of log quality. *Central European Forestry Journal* .

ANEXO I

ANEXO I

ANEXO I.1

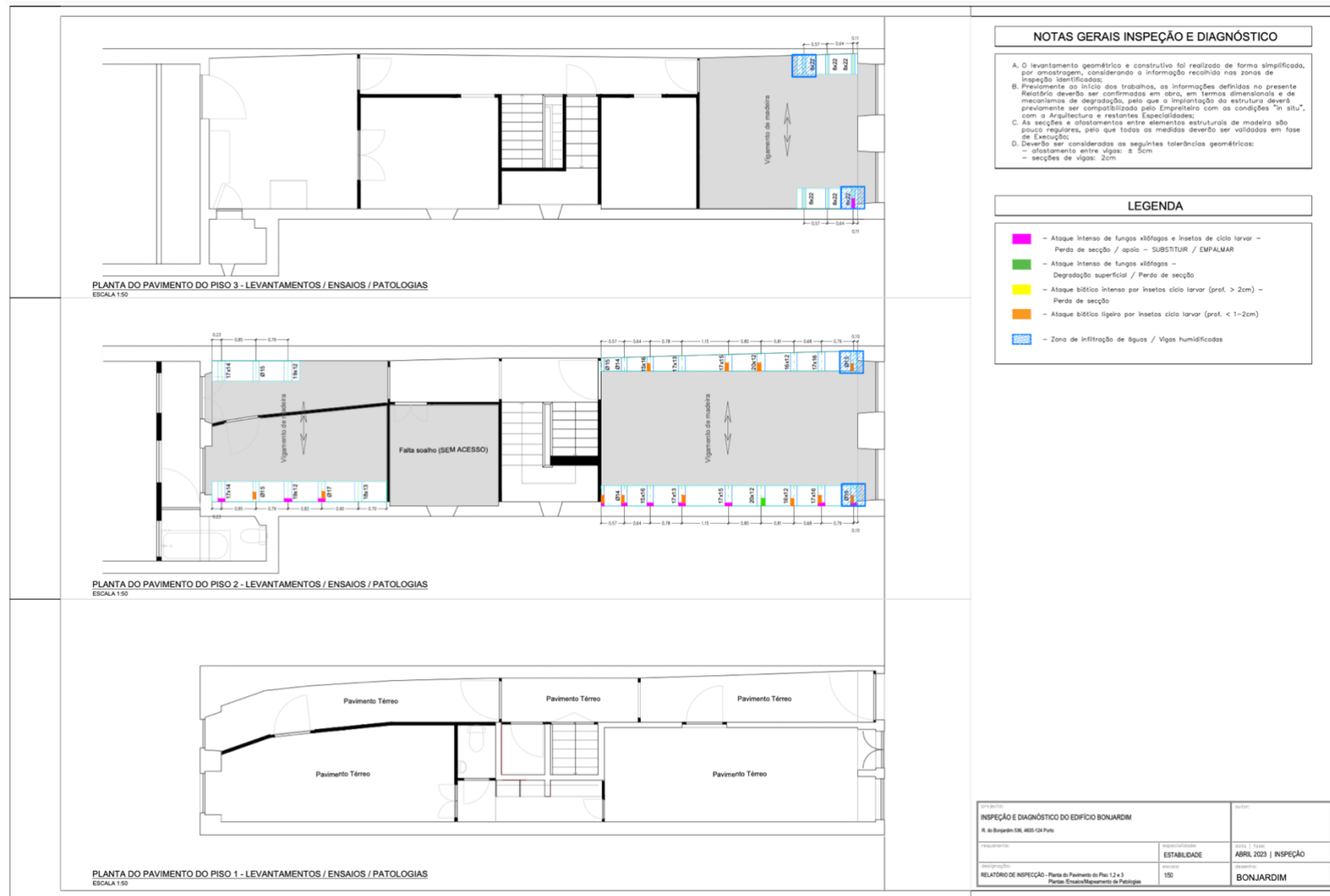
Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso



ANEXO I

ANEXO I.2

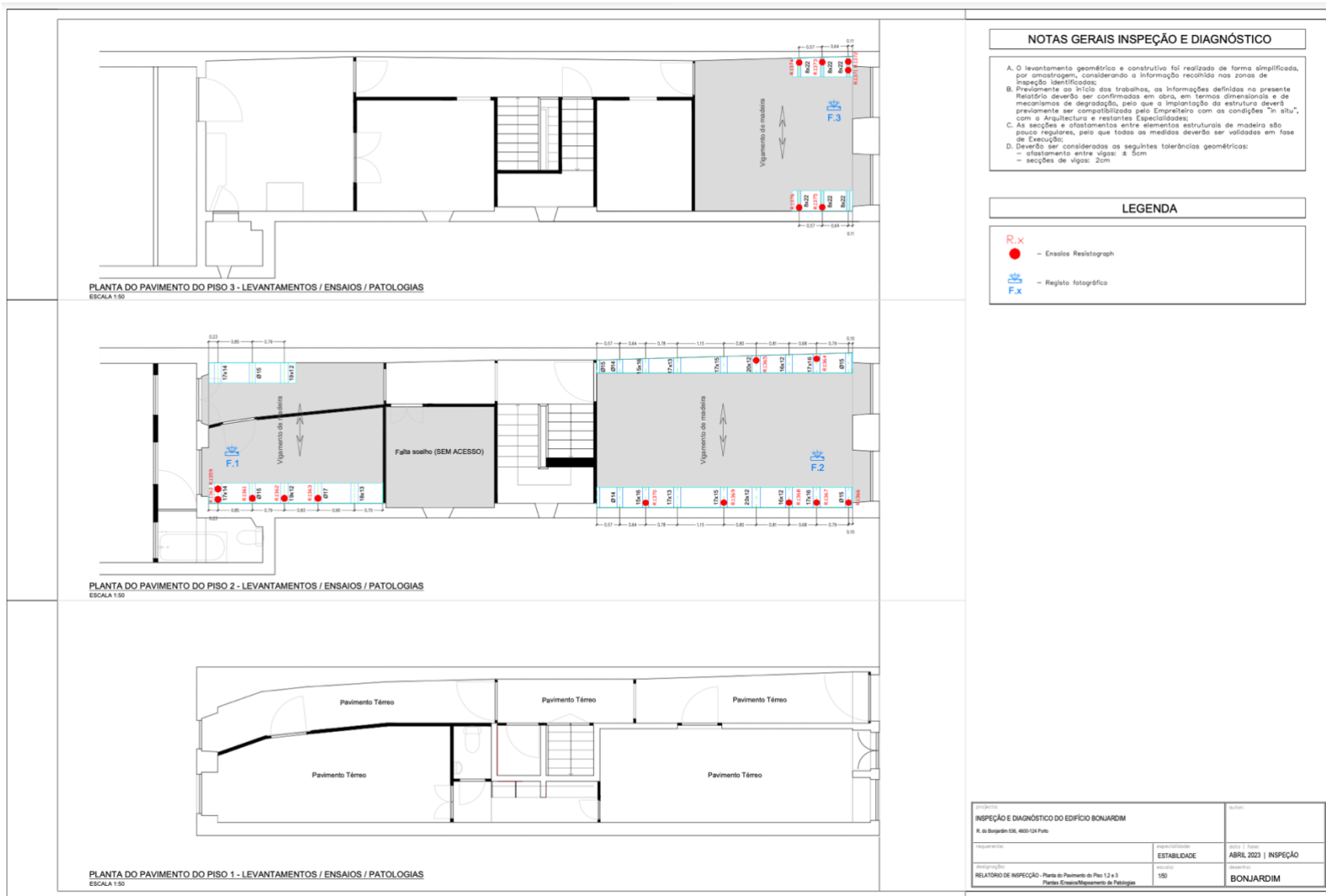
Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso



ANEXO I

ANEXO I.3

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso



ANEXO II

ANEXO II

ANEXO II.1

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELU							Carregamento			Combinação de ações			Tensões atuantes					Tensões resistentes		Verificação ELU (sem bamb.)	
							Peso próprio (KN/m)		Sobrecarga (KN/m2)	Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	Flexão			Corte		Flexão fm,d (Mpa)	Corte fv,d (Mpa)	Rácio	
							Vigas	Soalho					Soalho	ly (m4)	Msd (KN/m)	Tm,d (Mpa)	Vsd (KN)				
Pavimento Piso 2	Zona	b (m)	h (m)	Espaça mento (m)	L influênci a (m)	Vão (m)															
Viga 1	1	0,150	0,150	0,100	0,445	3,820	0,111	0,033	2,000	0,144	0,890	1,530	0,000025	2,791	8,423	2,922	0,220	18,000	2,400	0,468	0,092
Viga 2	1	0,170	0,160	0,790	0,735	3,790	0,171	0,055	2,000	0,226	1,470	2,510	0,000058	4,507	6,214	4,757	0,262	18,000	2,400	0,345	0,109
Viga 3	1	0,160	0,120	0,680	0,745	3,780	0,121	0,055	2,000	0,176	1,490	2,473	0,000023	4,417	11,503	4,674	0,365	18,000	2,400	0,639	0,152
Viga 4	1	0,200	0,120	0,810	0,805	3,750	0,151	0,060	2,000	0,211	1,610	2,700	0,000029	4,746	9,888	5,062	0,316	18,000	2,400	0,549	0,132
Viga 5	1	0,170	0,150	0,800	0,975	3,730	0,161	0,073	2,000	0,233	1,950	3,240	0,000048	5,634	8,838	6,042	0,355	18,000	2,400	0,491	0,148
Viga 6	1	0,170	0,130	1,150	0,965	3,700	0,139	0,072	2,000	0,211	1,930	3,180	0,000031	5,442	11,364	5,883	0,399	18,000	2,400	0,631	0,166
Viga 7	1	0,150	0,160	0,780	0,710	3,680	0,151	0,053	2,000	0,204	1,420	2,405	0,000051	4,072	6,362	4,426	0,277	18,000	2,400	0,353	0,115
Viga 8	1	0,140	0,140	0,640	0,605	3,660	0,097	0,045	2,000	0,142	1,210	2,007	0,000019	3,360	12,473	3,672	0,318	18,000	2,400	0,693	0,133
Viga 9	1	0,150	0,150	0,570	0,285	3,640	0,111	0,021	2,000	0,133	0,570	1,034	0,000025	1,712	5,168	1,882	0,142	18,000	2,400	0,287	0,059
Pavimento Piso 2																					
Viga 1	2	0,170	0,140	0,230	0,540	3,470	0,150	0,040	2,000	0,190	1,080	1,877	0,000039	2,825	5,086	3,256	0,205	18,000	2,400	0,283	0,086
Viga 2	2	0,150	0,150	0,850	0,820	3,470	0,111	0,061	2,000	0,172	1,640	2,693	0,000025	4,053	12,231	4,672	0,352	18,000	2,400	0,680	0,147
Viga 3	2	0,190	0,120	0,790	0,810	3,470	0,144	0,060	2,000	0,204	1,620	2,705	0,000027	4,072	8,929	4,694	0,309	18,000	2,400	0,496	0,129
Viga 4	2	0,170	0,170	0,830	0,865	3,470	0,143	0,064	2,000	0,207	1,730	2,875	0,000041	4,327	8,971	4,988	0,293	18,000	2,400	0,498	0,122
Viga 5	2	0,180	0,130	0,900	0,800	3,470	0,147	0,060	2,000	0,207	1,600	2,679	0,000033	4,033	7,954	4,649	0,298	18,000	2,400	0,442	0,124
Pavimento Piso 3																					
Viga 1	1	0,080	0,220	0,110	0,375	3,820	0,111	0,028	2,000	0,139	0,750	1,312	0,000071	2,394	3,709	2,507	0,214	18,000	2,400	0,206	0,089
Viga 2	1	0,080	0,220	0,640	0,605	3,800	0,111	0,045	2,000	0,156	1,210	2,025	0,000071	3,656	5,665	3,848	0,328	18,000	2,400	0,315	0,137
Viga 3	1	0,080	0,220	0,570	0,285	3,780	0,111	0,021	2,000	0,132	0,570	1,033	0,000071	1,846	2,860	1,953	0,166	18,000	2,400	0,159	0,069

ELS							Carregamento			Combinação de ações			Cálculo da inércia		Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo			Verificação	Vibração
							Peso próprio (kN/m)		Sobrecarga (kN/m²)	Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	y	ly	u _{inst,G} (m)	u _{inst,Q} (m)	u _{inst,final} (m)	L/300	u _{fin,G} (m)	u _{fin,Q} (m)	u _{final} (m)	L/200	Frequência > 8Hz
Pavimento Piso 2	Zona	b (m)	h (m)	Espaço mento (m)	Linfluência (m)	Vão (m)	Vigas	Soalho															
Viga 1	1	0,150	0,150	0,100	0,445	3,820	0,111	0,033	2,000	0,144	0,890	1,479	0,075	2,485E-05	1,465E-03	9,027E-03	0,010	0,012733333	0,00234	1,065E-02	0,0130	0,0191	6,3
Viga 2	1	0,170	0,160	0,790	0,735	3,790	0,171	0,055	2,000	0,226	1,470	2,431	0,08	0,0000580	9,514E-04	6,187E-03	0,007	0,012633333	0,00152	7,301E-03	0,0088	0,01895	
Viga 3	1	0,160	0,120	0,680	0,745	3,780	0,121	0,055	2,000	0,176	1,490	2,411	0,06	0,0000230	1,850E-03	1,563E-02	0,017	0,0126	0,00296	1,844E-02	0,0214	0,0189	
Viga 4	1	0,200	0,120	0,810	0,805	3,750	0,151	0,060	2,000	0,211	1,610	2,626	0,06	0,0000288	1,716E-03	1,309E-02	0,015	0,0125	0,00275	1,544E-02	0,0182	0,01875	
Viga 5	1	0,170	0,150	0,800	0,975	3,730	0,161	0,073	2,000	0,233	1,950	3,158	0,075	0,0000478	1,118E-03	9,345E-03	0,010	0,012433333	0,00179	1,103E-02	0,0128	0,01865	
Viga 6	1	0,170	0,130	1,150	0,965	3,700	0,139	0,072	2,000	0,211	1,930	3,106	0,065	0,0000311	1,504E-03	1,376E-02	0,015	0,012333333	0,00241	1,623E-02	0,0186	0,0185	
Viga 7	1	0,150	0,160	0,780	0,710	3,680	0,151	0,053	2,000	0,204	1,420	2,334	0,08	0,0000512	8,651E-04	6,021E-03	0,007	0,012266667	0,00138	7,105E-03	0,0085	0,0184	
Viga 8	1	0,140	0,140	0,640	0,605	3,660	0,097	0,045	2,000	0,142	1,210	1,957	0,07	0,0000189	1,599E-03	1,363E-02	0,015	0,0122	0,00256	1,608E-02	0,0186	0,0183	
Viga 9	1	0,150	0,150	0,570	0,285	3,640	0,111	0,021	2,000	0,133	0,570	0,988	0,075	0,0000249	1,108E-03	4,766E-03	0,006	0,012133333	0,00177	5,624E-03	0,0074	0,0182	
Pavimento Piso 2																							
Viga 1	2	0,170	0,140	0,230	0,540	3,470	0,150	0,040	2,000	0,190	1,080	1,810	0,07	0,0000389	8,393E-04	4,768E-03	0,006	0,011566667	0,00134	5,626E-03	0,0070	0,01735	14,7
Viga 2	2	0,150	0,150	0,850	0,820	3,470	0,111	0,061	2,000	0,172	1,640	2,632	0,075	0,0000249	1,190E-03	1,133E-02	0,013	0,011566667	0,00190	1,336E-02	0,0153	0,01735	
Viga 3	2	0,190	0,120	0,790	0,810	3,470	0,144	0,060	2,000	0,204	1,620	2,634	0,06	0,0000274	1,279E-03	1,016E-02	0,011	0,011566667	0,00205	1,199E-02	0,0140	0,01735	
Viga 4	2	0,170	0,170	0,830	0,865	3,470	0,143	0,064	2,000	0,207	1,730	2,802	0,085	0,0000410	8,680E-04	7,242E-03	0,008	0,011566667	0,00139	8,545E-03	0,0099	0,01735	
Viga 5	2	0,180	0,130	0,900	0,450	3,470	0,147	0,033	2,000	0,181	0,900	1,531	0,065	3,30E-05	9,421E-04	4,687E-03	0,006	0,011566667	0,00151	5,531E-03	0,0070	0,01735	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	1	0,080	0,220	0,110	0,375	3,820	0,111	0,028	2,000	0,139	0,750	1,264	0,11	0,0000710	4,928E-04	2,663E-03	0,003	0,012733333	0,00079	3,142E-03	0,0039	0,0191	29,2
Viga 2	1	0,080	0,220	0,640	0,605	3,800	0,111	0,045	2,000	0,156	1,210	1,971	0,11	0,0000710	5,420E-04	4,207E-03	0,005	0,012666667	0,00087	4,964E-03	0,0058	0,019	
Viga 3	1	0,080	0,220	0,570	0,285	3,780	0,111	0,021	2,000	0,132	0,570	0,987	0,11	0,0000710	4,497E-04	1,940E-03	0,002	0,0126	0,00072	2,290E-03	0,0030	0,0189	

ANEXO III

ANEXO III

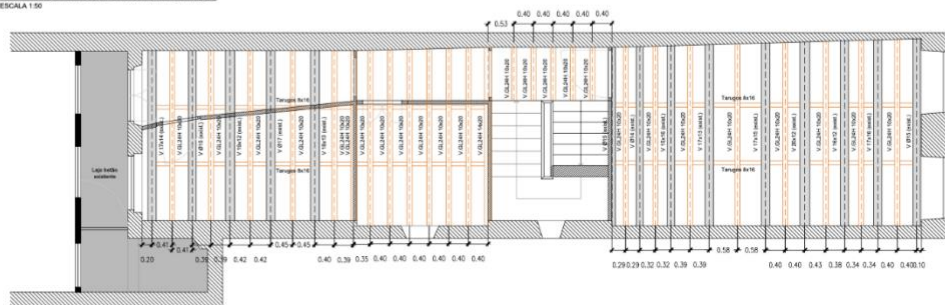
ANEXO III.1

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

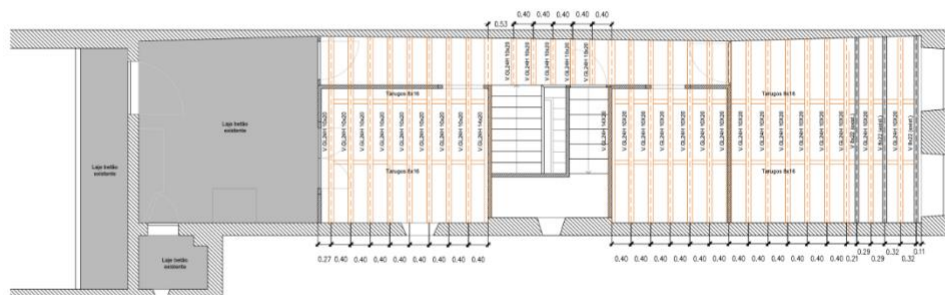
PLANTA ESTRUTURAL - PAVIMENTO PISO 1
ESCALA 1:50



PLANTA ESTRUTURAL - PAVIMENTO PISO 2
ESCALA 1:50



PLANTA ESTRUTURAL - PAVIMENTO PISO 3
ESCALA 1:50



NOTAS GERAIS

- As soluções de Projeto carecem de confirmação em obra, pelo que a implantação da estrutura deverá previamente ser compatibilizada pelo Empreiteiro com as condições "in situ", com a Arquitetura e demais Especialidades;
- Todas as intervenções deverão ser executadas com recurso a técnicas ligadas que não impliquem qualquer dano sobre a estrutura existente bem como sobre as estruturas dos edifícios contíguos;
- Todas as alterações apresentadas deverão de ser confirmadas com o Projeto de Arquitetura;
- Todas as intervenções que não estão definidas nas peças desenhadas serão realizadas de acordo com o Mapa de Trabalhos e Quantidades e Condições Técnicas.

MATERIAIS

- Betão de regularização e limpeza - C30/37 - XG - C10.0 - Dmax25mm - S3
- Betão em estruturas - C30/37 - XC1 - C6.4 - Dmax16mm - S3

ARMADURAS PARA BETÃO ARMADO:

- Varões terminados - S202 (ASDQ-MR)
- Redes electromecânicas - S202 (ASDQ-EL)
- Armação em perfil e chapas - S275SR (EN 10025-2)
- Planchas, chumbadores e conectores - classe S4

MADEIRA:

- Pavimentos, Paredes de forral, Arcos, Madres e Madeira de Cobertura - Madeira Lambeada GL24h (EN 338-2009)

LEGENDA

- COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO TERÇO
- COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO PRATO
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PEDRA A CONSERVAR
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A CONSERVAR
- COTA DE NÍVEL
- ESPESSURA DE LAJE
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A CONSERVAR

NOTAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

- Todas as ligações entre peças de madeira deverão ser realizadas por sarranços e a superfície de contacto preenchida com cola para madeira;
- As ligações por sarranços deverão ser reforçadas com parafusos autoperforantes para madeira;
- As peças de madeira nova serão tratadas inicialmente com preservante em autoclave, admitindo-se classe de risco 2;
- Os tipos comerciais de madeira nova serão tratados com preservante anti-fungos e anti-insetos do tipo XILUX 3000P da PLUGSD, conforme instruções do fabricante;
- O Empreiteiro deverá garantir a aplicação de madeira da classe máxima definida em Projeto, devendo apresentar os seguintes certificados a submeter para Fiscalização:

NOTA LIGAÇÕES DE MADEIRA

- As vigas de madeira serão assentes sobre o consolo das paredes em alvenaria de pedra ou em cantoneiras metálicas, sendo ligadas a estas por parafusos;
- Todas as ligações entre peças de madeira serão realizadas com recurso a encaixes por sarranços e reforçadas com parafusos autoperforantes;

NOTA TARUGAMENTO PAVIMENTOS

- Todos os pavimentos a cobertura deverão ser tarugados com peças de 18x18cm, nos terços dos vãos superiores a 3,0m, em madeira de Pinus Nordica tratado em autoclave;
- A decisão sobre a conservação de tarugos pré-existentis deverá ser feita em obra pelo Fiscalizador, após a remoção dos revestimentos e acesso em segurança aos elementos estruturais;

NOTAS CONSERVAÇÃO VIGAMENTOS

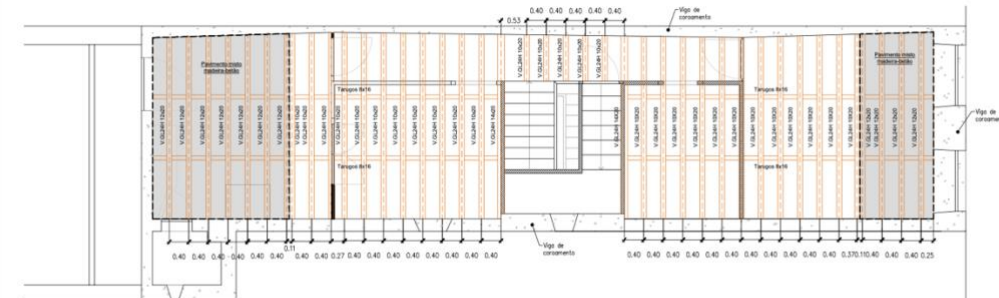
- A decisão sobre a conservação/retiragem dos vigamentos deverá ser tomada em fase de obra, pelo Projeto, quando os elementos estruturais estiverem visíveis e com acesso em condições de Segurança (a ver pelo Empreiteiro, de acordo com o definido no Plano de Segurança e Saúde);
- Deverá o Empreiteiro fazer o levantamento da geometria da estrutura existente a conservar, informando previamente o Projeto e submeter a informação ao levantamento para a respetiva validação estrutural à luz da regulamentação aplicável;

projecto REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO Rua de Bagatela, 4538-038, Porto		estudo 	
requerente:	ANGELINA, DANIEL E JERONIMO BOTELHO	especialidade:	ESTUDO PRÉVIO
designação:	Plantas estruturais - Planta Piso 1 e 2	data:	JUNHO 2024 ESTUDO PRÉVIO
		autor:	
		ver:	A2
			P292-EST-EP-001.00

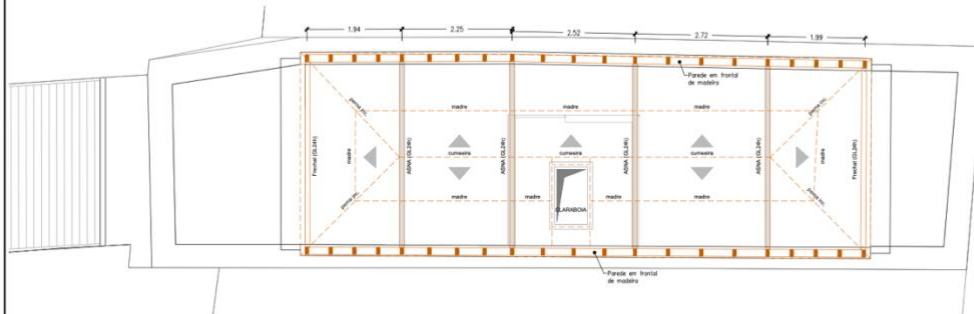
ANEXO III

ANEXO III.2

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso



PLANTA ESTRUTURAL - COBERTURA
ESCALA 1:50



NOTAS GERAIS

- A. As soluções de Projeto careçam de confirmação em obra, pelo que a implementação da obra deverá previamente ser conceptualizada pelo Empreiteiro com as condições "in situ", com a Arquitectura e restantes Especialidades;
- B. Todos os trabalhos deverão ser executados com recurso a técnicas ligadas que não induzam qualquer dano sobre a estrutura existente bem como sobre as estruturas dos edifícios contíguos;
- C. Todas as dimensões apresentadas deverão de ser confirmadas com o Projecto de Arquitectura;
- D. Todos os trabalhos que não estão definidos nas peças desenhadas serão realizados de acordo com o Mapa de Trabalhos e Quantidades e Condições Técnicas.

MATERIALS

- Betão de regularização e limpeza - C12/15 - X0 - C11.0 - Dmax25mm - S3
- Betão em estruturas - C30/37 - XC1 - C30.4 - Dmax16mm - S3

ARMADURAS PARA BETÃO ARMADO:

- Varões nervurados - S500 (A500 NR)
- Redes electrossoldadas - S500 (A500 EL)
- Aços em perfil e chapas - S275JR (EN 10025-2)
- Parafusos, chumbadores e conectores - classe 5.6

MADEIRA:

- Pavimentos, Paredes de frontal, Asnas, Madres e Madeiramento da Cobertura - Madeira Lamelada GL24h (EN 338:2009)

LEGENDA

- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | - COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO TOSCO |  | - COTA DE NÍVEL |
|  | - COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO PRONTO |  | - ESPESSURA DE LAJE |
|  | - ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PEDRA A CONSERVAR |  | - ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A CONSERVAR |

NOTAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

- A. Todas as ligações entre peças de madeira deverão ser realizadas por sargamela e a superfície de contacto preenchida com cola para madeira;
- B. As ligações por sargamela deverão ser reforçadas com parafusos autoroscantes para madeira;
- C. As peças de madeira nova serão tratadas inicialmente com preservante em autoclave, admitindo-se classe do risco 2;
- D. Os topos serrados de madeira nova serão tratados com preservante anti-fúngico e anti-insecticida do tipo XILUX 3000P da PLUGGEO, conforme instruções do Fabricante;
- E. O Empreiteiro deverá garantir a aplicação de madeira da classe resistente definida em Projecto, devendo apresentar os respectivos certificados a solicitar pela Fiscalização.

NOTA LIGAÇÕES DE MADEIRA

- As vigas de madeira serão assentes sobre o coroamento das paredes em alvenaria de ped. ou em cantoneiras metálicas, sendo ligadas a estas por parafusos;
- Todas as ligações entre peças de madeira serão realizadas com recurso a encaixe por sarnilhagem e reforçadas com parafusos autorroscantes;

NOTA TARUGAMENTO PAVIMENTOS

- Todos os pavimentos e coberturas deverão ser tarugados com peças 6x16cm, nos terços dos vãos superiores a 3,5m, em madeira de Pinho Nórdico tratado em autoclave;
- A decisão sobre a conservação de tarugos pré-existentis deverá ser feita em obra pela Fiscalização, após a remoção dos revestimentos e acesso em segurança aos elementos estruturais.

NOTAS CONSERVAÇÃO VIGAMENTOS

- A decisão sobre a conservação/reforço dos vigamentos deverá ser tomada em fase de obra pelo Projeto, quando os elementos estruturais estiverem visíveis e com acesso em perfeitas condições de Segurança (aclar pelo Empreiteiro, de acordo com o definido no Plano de Segurança e Saúde);
- Deverá o Empreiteiro fazer o levantamento da geometria da estrutura existente a conservar informando previamente o Projeto e submetendo a informação de levantamento para a respectiva validação estrutural à luz da regulamentação aplicável.

projeto: REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO Rua de Borja, nº38-538, Porto		autor:  cerne INSTITUTO DE REABILITAÇÃO E ENOVAÇÃO	
requerente: ANGELINA, DANIEL E JERÔNIMO BOTELHO	especificidade: ESTUDO PRÉVIO	data / fase: JUNHO 2024 / ESTUDO PRÉVIO	desenho: P292. EST. EP. 002.00
designação: Plantas estruturais - Planta Piso 1 a 3	escala: 1/50	A2-	

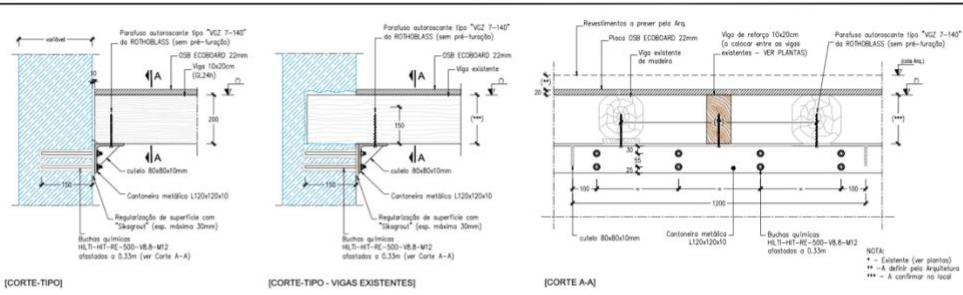
ANEXO III

ANEXO III.3

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

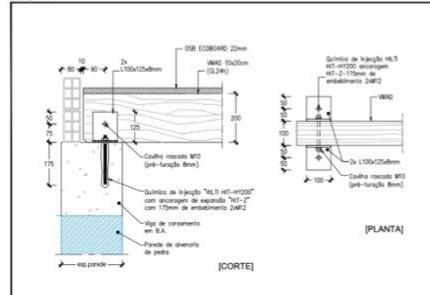
PORMENOR REFORÇO PAVIMENTOS DE MADEIRA (INTERIOR)

ESCALA 1:10



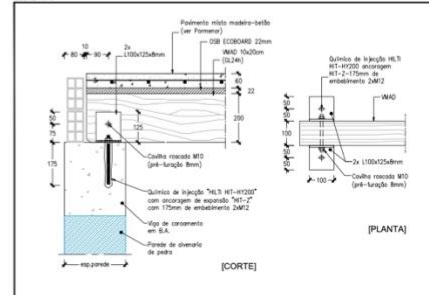
PORMENOR APOIO PAVIMENTOS DE MADEIRA - PISO 4 (INTERIOR)

ESCALA 1:10



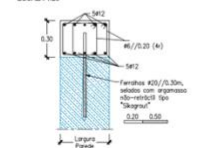
PORMENOR APOIO PAVIMENTOS DE MADEIRA - PISO 4 (EXTERIOR-VARANDAS)

ESCALA 1:10



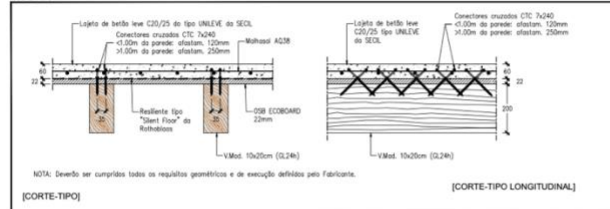
VIGA DE COROAMENTO - CORTE TIPO

ESCALA 1:20



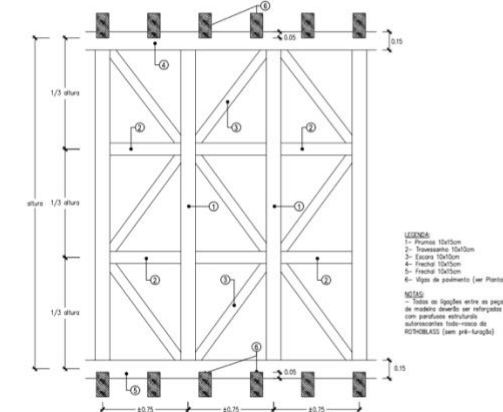
PORMENOR PAVIMENTO MISTO MADEIRA-BETÃO

ESCALA 1:10



PAREDE FRONTAL DE MADEIRA - PORMENORES-TIPO

ESCALA 1:20



NOTAS GERAIS

- As soluções de Projeto carecem de confirmação em obra, pelo que a implantação da estrutura deverá previamente ser compatibilizada pelo Empreiteiro com as condições "in situ", com a Arquitetura e os restantes Especialistas.
- Todos os trabalhos deverão ser executados com recurso a técnicas ligadas que não induzam qualquer dano sobre a estrutura existente bem como sobre as estruturas das edificações contíguas.
- Todos os elementos apresentados deverão de ser confirmados com o Projeto de Arquitetura.
- Todos os trabalhos que não estão definidos nas peças desenhadas serão realizados de acordo com o Mapa de Trabalhos e Quantidades e Condições Técnicas.

MATERIAIS

- Betão de regularização e limpeza - C12/15 - XC1 - Cl.4 - Densidade - 23
- Betão em estruturas - C30/37 - XC1 - Cl.4 - Densidade - 23
- ARMADURAS PARA BETÃO ARMADO:
 - Varões longitudinais - S200 (AR50 MR)
 - Varões transversais - S200 (AR50 BL)
 - Aço em perfil e chapas - S275JR (EN 10025-2)
 - Parafusos, chumbadores e conectores - classe 5.6
- MADEIRA:
 - Placamentos, Painéis de Frontal, Azulejos, Madeira e Madeiramento da Cobertura - Madeira Laminada (GL24h) (EN 338 2008)

LEGENDA

- COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO TÓRDO
- COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO PRÓFUTO
- COTA DE NÍVEL
- ESPESSURA DE LAJE
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A CONSERVAR
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE NOVA A CONSTRUÇÃO

NOTAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

- Todos as ligações entre peças de madeira deverão ser realizadas por sarrafeamento e a superfície de contacto preenchida com cola para madeira.
- As ligações por sarrafeamento deverão ser reforçadas com parafusos autoperforantes para madeira.
- As peças de madeira nova serão tratadas inicialmente com preservante em autoclave, aderindo-se classe de risco 2.
- Os ligamentos de madeira nova serão tratados com preservante anti-fúngico e anti-insecticida do tipo XILUX 3000P da PLUGOOD, conforme instruções do Fabricante.
- O Empreiteiro deverá garantir a aplicação de madeira da classe resistente definida em Projeto, devendo apresentar os respectivos certificados a solicitar para fiscalização.

NOTA LIGAÇÕES DE MADEIRA

- As vigas de madeira serão assentes sobre o corrimão das paredes em alvenaria de pedra ou em cantoneiras metálicas, sendo ligadas a estas por parafusos;
- Todas as ligações entre peças de madeira serão realizadas com recurso a encaixe por sarrafeamento e reforçadas com parafusos autoperforantes.

NOTA TARUGAMENTO PAVIMENTOS

- Todos os pavimentos e coberturas deverão ser tarugados com peças B1/B3h, nos torços dos vãos superiores a 3,0m, em madeira de Pinho Nórdico tratado em autoclave;
- A decisão sobre a conservação de tarugos pré-existent deverá ser feita em obra pela fiscalização, após a remoção dos revestimentos e acesso em segurança aos elementos estruturais.

NOTAS CONSERVAÇÃO VIGAMENTOS

- A decisão sobre a conservação dos vigamentos deverá ser tomada em fase de obra, pelo Projeto, quando os elementos estruturais estiverem visíveis e com acesso em melhores condições de Segurança de obra pelo Empreiteiro, de acordo com o definido no Plano de Segurança e Saúde;
- Deverá o Empreiteiro fazer o levantamento da geometria da estrutura existente e conservar, informando previamente a Projeto e submeter a informação de levantamento para a respetiva validação estrutural à luz da regulamentação aplicável.

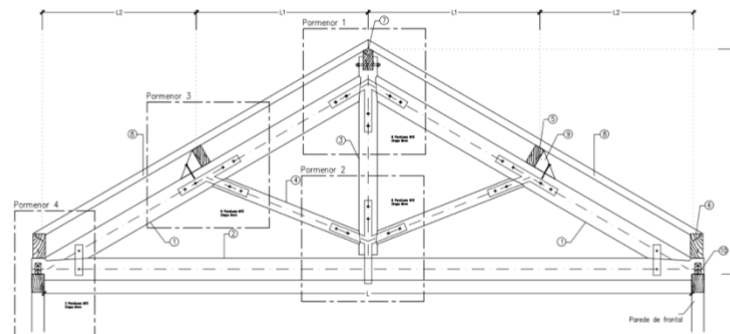
projeto REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO Rua de Bragança, nº338-338, Porto		autor 	
requerente ANGELINA DANIEL E JERONIMO BOTELHO	especialidade ESTUDO PRÉVIO	data JUNHO 2024 (ESTUDO PRÉVIO)	assinatura P292. EST. EP.003.00
coordenador Pormenor (1/2)	escala 1/20 1/10	anexo A2	

ANEXO III

ANEXO III.4

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ASNAS DE MADEIRA - PERFIL-TIPO
ESCALA 1:20



LEGENDA:

1- Perna / 2- Linha / 3- Pendural / 4- Escora / 5- Madre / 6- Frechal / 7- Cuneira / 8- Varas / 9- Colço de madeira / 10- Lijação com chapa metálica perfurada do tipo "WYS ANGULAR 9060" de ROTHOBLAS (em ambas as faces)

NOTAS:

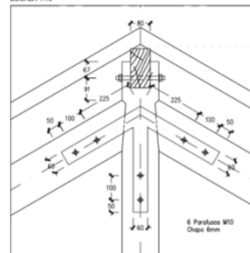
- As dimensões apresentadas são indicativas e deverão previamente ser confirmadas em obra;
- As ferragens de ligação deverão ser colocadas em ambas as faces da peça de madeira;

QUADRO DE ASNAS

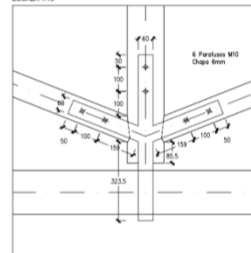
ASNA	1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)	5 (cm)	6 (cm)	7 (cm)	8 (cm)	H (m)	L (m)	L1 (m)	L2 (m)
TPO 1	10x16	10x16	10x12	10x12	8x16	10x20	8x16	8x16/70cm	1.00 (*)	4.02	(**)	(**)

(*) - Validar com o Arquiteto
(**) - Ver Plantas

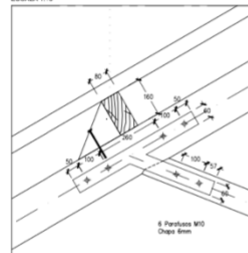
PORMENOR 1
ESCALA 1:10



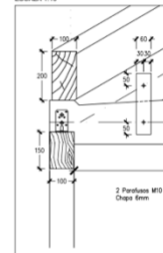
PORMENOR 2
ESCALA 1:10



PORMENOR 3
ESCALA 1:10



PORMENOR 4
ESCALA 1:10



NOTAS GERAIS

- As soluções de Projeto carecem de confirmação em obra, pelo que a implantação da estrutura deverá previamente ser compatibilizada pelo Empreiteiro com as condições "in-situ", com o Arquiteto e restantes Especialistas;
- Todas as intervenções deverão ser executadas com recurso a técnicas ligadas que não impliquem qualquer dano sobre a estrutura existente bem como sobre as estruturas das edificações contíguas;
- Todas as dimensões apresentadas deverão de ser confirmadas com o Projeto de Arquitetura;
- Todas as intervenções que não estão definidas nas peças desenhadas serão realizadas de acordo com o Mapa de Trabalhos e Condições Técnicas.

MATERIAIS

- Betão de regularização e limpeza - C15/10 - X0 - C1 - D - Dmax15mm - S3
- Betão em estruturas - C30/37 - XC1 - C14 - Dmax15mm - S3

ARMADURAS PARA BETÃO ARMADO:

- Varas rebarbadas - Ø200 (AR200 MR)
- Redes electrosoldadas - Ø200 (AR200 EL)
- Aço em perfil e chapas - S275JR (EN 10025-2)
- Parafusos, chumbadores e cones/porcas - classe 8.8

MADEIRA:

- Painéis: Painéis de Frontal, Azulejos, Madeiras e Madeiramento da Cobertura - Madeira Lameleada GL24h (EN 338:2008)

LEGENDA

- COTA DA FACE SUPERIOR DO ELEMENTO NO TPO
- COTA DA FACE INFERIOR DO ELEMENTO NO TPO
- COTA DE NÍVEL
- ESPESSURA DE LAJE
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE PEDRA A CONSERVAR
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A CONSERVAR
- ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA A INTERFERIR

NOTAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

- Todas as ligações entre peças de madeira deverão ser realizadas por sarrafeamento e a superfície de contacto deverá ser previamente tratada com produto anticorrosivo para madeira;
- As ligações por sarrafeamento deverão ser reforçadas com parafusos autocortantes para madeira;
- As peças de madeira novas serão tratadas previamente com preservante em autoclave, aderindo-se classe de risco 2;
- Os tipos serrados de madeira nova serão tratados com preservante anti-fúngico e anti-insectos do tipo XILIX 3000P da PLUGG, conforme instruções do Fabricante;
- O Empreiteiro deverá garantir a aplicação de madeira da classe resistente definida em Projeto, devendo apresentar os respectivos certificados a solicitar para fiscalização.

NOTA LIGAÇÕES DE MADEIRA

- As vigas de madeira serão assentes sobre o cornamento das paredes em alvenaria de pedra ou em canteiros metálicos, sendo ligadas a estas por parafusos;
- Todas as ligações entre peças de madeira novas realizadas com recurso a encaixe por sarrafeamento e reforçadas com parafusos autocortantes;

NOTA TARUGAMENTO PAVIMENTOS

- Todas as pavimentações e coberturas deverão ser tarugadas com peças B1/Bm, nos trechos dos vãos superiores a 3,0m, em madeira de Pinho Nordico tratado em autoclave;
- A decisão sobre a conservação de tarugos pré-existent deverá ser feita em obra pela fiscalização, após a remoção dos revestimentos e acesso em segurança aos elementos estruturais;

NOTAS CONSERVAÇÃO VIGAMENTOS

- A decisão sobre a conservação/reforço dos vigamentos deverá ser tomada em fase de obra, pelo Projeto, quando os elementos estruturais estiverem visíveis e com acesso em condições de Segurança a criar pelo Empreiteiro, de acordo com o definido no Plano de Segurança e Saúde;
- Deverá o Empreiteiro fazer o levantamento da geometria da estrutura existente a conservar, informando previamente o Projeto e submeter a informação do levantamento para a respetiva validação estrutural à luz da regulamentação aplicável.

projeto: REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO Rua de Bagan, nº36-38, Faro	autor: 
requerente: ANGELINA DANIEL E JERONIMO BOTELHO	especialidade: ESTUDO PRÉVIO
desenho: Pormenores (2D)	data 1 fase: JUNHO 2024 ESTUDO PRÉVIO
	escala: 1:20 1:10 A2
	projeto: P292. EST. EP. 004.00

ANEXO IV

ANEXO IV

ANEXO IV.1

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELU							Carregamento		Combinação de ações				Tensões atuantes					Tensões resistentes		Verificação ELU							
							Peso próprio (kN/m)		Sobrecarga (kN/m2)	Permanente s (G)	Variáveis (Q)	Combinação P	Flexão			Corte		Flexão	Corte	Rácio							
Pavimento Piso 2							Zona	b (m)	h (m)	Espaçamento (m)	L Influência (m)	Vão (m)	Vigas	Soalho	Soalho		Iy (m4)	Msd (kN/m)	Tm,d (Mpa)	Vsd (kN)	Tv,d (Mpa)	fm,d (Mpa)	fv,d (Mpa)	Flexão	Corte		
Viga 1							1	0.150	0.150	0.100	0.250	3.820	0.111	0.330	2	0.441	0.500	1.346	0.000025	2.455	7.409	2.570	0.194	19.200	2.560	0.386	0.076
Viga 2								0.100	0.200	0.400	0.400	3.810	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.657	5.485	3.839	0.288	15.360	1.728	0.357	0.167
Viga 3								0.170	0.160	0.400	0.370	3.790	0.171	0.488	2	0.660	0.740	2.001	0.000058	3.592	4.953	3.791	0.209	19.200	2.560	0.258	0.082
Viga 4								0.100	0.200	0.34	0.340	3.790	0.076	0.449	2	0.525	0.680	1.728	0.000067	3.104	4.655	3.275	0.246	15.360	1.728	0.303	0.142
Viga 5								0.160	0.120	0.34	0.360	3.780	0.121	0.475	2	0.596	0.720	1.885	0.000023	3.366	8.767	3.562	0.278	19.200	2.560	0.457	0.109
Viga 6							1	0.100	0.200	0.38	0.410	3.760	0.076	0.541	2	0.617	0.820	2.063	0.000067	3.646	5.469	3.879	0.291	15.360	1.728	0.356	0.168
Viga 7								0.200	0.120	0.43	0.415	3.750	0.151	0.548	2	0.699	0.830	2.189	0.000029	3.847	8.015	4.104	0.256	19.200	2.560	0.417	0.100
Viga 8								0.100	0.200	0.40	0.400	3.740	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.524	5.286	3.769	0.283	15.360	1.728	0.344	0.164
Viga 9								0.170	0.150	0.40	0.490	3.730	0.161	0.647	2	0.807	0.980	2.560	0.000048	4.452	6.984	4.775	0.281	19.200	2.560	0.364	0.110
Viga 10								0.100	0.200	0.58	0.580	3.710	0.076	0.766	2	0.842	1.160	2.876	0.000067	4.948	7.423	5.335	0.400	15.360	1.728	0.483	0.232
Viga 11							1	0.170	0.130	0.58	0.485	3.700	0.139	0.640	2	0.779	0.970	2.507	0.000031	4.290	8.960	4.638	0.315	19.200	2.560	0.467	0.123
Viga 12								0.100	0.200	0.39	0.390	3.690	0.076	0.515	2	0.591	0.780	1.968	0.000067	3.349	5.023	3.630	0.272	15.360	1.728	0.327	0.158
Viga 13								0.150	0.160	0.39	0.355	3.680	0.151	0.469	2	0.620	0.710	1.902	0.000051	3.219	5.030	3.499	0.219	19.200	2.560	0.262	0.085
Viga 14								0.100	0.200	0.32	0.320	3.670	0.076	0.422	2	0.498	0.640	1.633	0.000067	2.749	4.123	2.996	0.225	15.360	1.728	0.268	0.130
Viga 15								0.140	0.140	0.32	0.305	3.660	0.097	0.403	2	0.500	0.610	1.589	0.000019	2.661	9.879	2.909	0.252	19.200	2.560	0.515	0.098
Viga 16							1	0.100	0.200	0.29	0.290	3.765	0.076	0.383	2	0.459	0.580	1.489	0.000067	2.639	3.959	2.804	0.210	15.360	1.728	0.258	0.122
Viga 17								0.150	0.150	0.29	0.145	3.640	0.111	0.191	2	0.303	0.290	0.844	0.000025	1.397	4.217	1.536	0.116	19.200	2.560	0.220	0.045
Pavimento Piso 2							2	0.170	0.140	0.200	0.305	3.470	0.150	0.403	2	0.553	0.610	1.661	0.000039	2.500	4.502	2.882	0.182	19.200	2.560	0.234	0.071
Viga 1								0.100	0.200	0.410	0.410	3.470	0.076	0.541	2	0.617	0.820	2.063	0.000067	3.105	4.658	3.580	0.268	15.360	1.728	0.303	0.155
Viga 2								0.150	0.150	0.410	0.400	3.470	0.111	0.528	2	0.639	0.800	2.063	0.000025	3.105	9.372	3.579	0.270	19.200	2.560	0.488	0.105
Viga 3								0.100	0.200	0.390	0.390	3.470	0.076	0.515	2	0.591	0.780	1.968	0.000067	2.961	4.442	3.414	0.256	15.360	1.728	0.289	0.148
Viga 4								0.190	0.120	0.390	0.405	3.470	0.144	0.535	2	0.678	0.810	2.131	0.000027	3.207	7.033	3.697	0.243	19.200	2.560	0.366	0.095
Viga 5							2	0.100	0.200	0.420	0.420	3.470	0.076	0.554	2	0.630	0.840	2.111	0.000067	3.177	4.766	3.663	0.275	15.360	1.728	0.310	0.159
Viga 6								0.170	0.170	0.420	0.435	3.470	0.143	0.574	2	0.717	0.870	2.273	0.000041	3.421	7.094	3.944	0.232	19.200	2.560	0.369	0.091
Viga 7								0.100	0.200	0.450	0.450	3.470	0.076	0.594	2	0.670	0.900	2.255	0.000067	3.393	5.090	3.912	0.293	15.360	1.728	0.331	0.170
Viga 8								0.180	0.130	0.450	0.425	3.470	0.147	0.561	2	0.708	0.850	2.231	0.000033	3.358	6.624	3.871	0.248	19.200	2.560	0.345	0.097
Viga 9								0.100	0.200	0.400	0.395	3.470	0.076	0.521	2	0.597	0.790	1.991	0.000067	2.997	4.496	3.455	0.259	15.360	1.728	0.293	0.150
Viga 10							2	0.100	0.200	0.390	0.370	3.470	0.076	0.488	2	0.564	0.740	1.872	0.000067	2.817	4.226	3.248	0.244	15.360	1.728	0.275	0.141
Viga 11								0.100	0.200	0.390	0.370	3.470	0.076	0.488	2	0.564	0.740	1.872	0.000067	2.817	4.226	3.248	0.244	15.360	1.728	0.275	0.141
Pavimento Piso 2							3	0.140	0.200	0.530	0.465	3.640	0.106	0.614	2	0.720	0.930	2.367	0.000093	3.921	4.201	4.308	0.231	15.360	1.728	0.273	0.134
Viga 1								0.100	0.200	0.400	0.400	3.630	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.320	4.979	3.658	0.274	15.360	1.728	0.324	0.159
Viga 2								0.100	0.200	0.400	0.400	3.620	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.301	4.952	3.648	0.274	15.360	1.728	0.322	0.158
Viga 3								0.100	0.200	0.400	0.400	3.610	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.283	4.925	3.638	0.273	15.360	1.728	0.321	0.158
Viga 4								0.100	0.200	0.400	0.400	3.600	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.265	4.897	3.628	0.272	15.360	1.728	0.319	0.157
Viga 5								0.100	0.200	0.400	0.400	3.590	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	3.247	4.870	3.618	0.271	15.360	1.728	0.317	0.157
Viga 6								0.100	0.200	0.400	0.375	3.580	0.076	0.495	2	0.571	0.750	1.896	0.000067	3.037	4.556	3.394	0.255	15.360	1.728	0.297	0.147
Viga 7							4	0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048
Viga 1								0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048
Viga 2								0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048
Viga 3								0.100	0.200	0.400	0.400	1.090	0.076	0.528	2	0.604	0.800	2.015	0.000067	0.299	0.449	1.098	0.082	15.360	1.728	0.029	0.048
Viga 4								0.100	0.200	0.400	0.465	1.090	0.076	0.614	2	0.690	0.930	2.326	0.000067	0.345	0.518	1.268	0.095	15.360	1.728	0.034	0.055

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELS							Carregamento			Combinação de ações			Cálculo da inércia		Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo			Verificação
Pavimento Piso 2	Zona	b (m)	h (m)	Espaçamento (m)	Influência (m)	Vão (m)	Peso próprio (KN/m)		Sobrecarga (KN/m2)	Permanente s (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	γ	I _y	u _{inst,G} (m)	u _{inst,Q} (m)	u _{inst,final} (m)	L/300	u _{fin,G} (m)	u _{fin,Q} (m)	u _{fin,final} (m)	L/200
							Vigas	Soalho														
Viga 1	1	0,150	0,150	0,100	0,250	3,820	0,111	0,330	2	0,441	0,500	1,191	0,075	2,49E-05	4,48E-03	5,07E-03	0,0095	0,0127	7,16E-03	5,98E-03	0,0131	0,0191
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,810	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,14E-03	2,84E-03	0,0050	0,0127	3,43E-03	3,35E-03	0,0068	0,01905
Viga 3	1	0,170	0,160	0,400	0,370	3,790	0,171	0,488	2	0,659	0,740	1,769	0,08	5,80E-05	2,78E-03	3,11E-03	0,0059	0,0126	4,44E-03	3,68E-03	0,0081	0,01895
Viga 4	1	0,100	0,200	0,34	0,340	3,790	0,076	0,449	2	0,525	0,680	1,545	0,1	6,67E-05	1,82E-03	2,36E-03	0,0042	0,0126	2,92E-03	2,79E-03	0,0057	0,01895
Viga 5	1	0,160	0,120	0,34	0,360	3,780	0,121	0,475	2	0,596	0,720	1,676	0,06	2,30E-05	6,25E-03	7,55E-03	0,0138	0,0126	1,00E-02	8,91E-03	0,0189	0,0189
Viga 6	1	0,100	0,200	0,38	0,410	3,760	0,076	0,541	2	0,617	0,820	1,847	0,1	6,67E-05	2,08E-03	2,76E-03	0,0048	0,0125	3,32E-03	3,26E-03	0,0066	0,0188
Viga 7	1	0,200	0,120	0,43	0,415	3,750	0,151	0,548	2	0,699	0,830	1,944	0,06	2,88E-05	5,68E-03	6,75E-03	0,0124	0,0125	9,09E-03	7,96E-03	0,0170	0,01875
Viga 8	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,99E-03	2,64E-03	0,0046	0,0125	3,18E-03	3,11E-03	0,0063	0,0187
Viga 9	1	0,170	0,150	0,40	0,490	3,730	0,161	0,647	2	0,808	0,980	2,278	0,075	4,78E-05	3,87E-03	4,70E-03	0,0086	0,0124	6,19E-03	5,54E-03	0,0117	0,01865
Viga 10	1	0,100	0,200	0,58	0,580	3,710	0,076	0,766	2	0,842	1,160	2,582	0,1	6,67E-05	2,68E-03	3,70E-03	0,0064	0,0124	4,30E-03	4,37E-03	0,0087	0,01855
Viga 11	1	0,170	0,130	0,58	0,485	3,700	0,139	0,640	2	0,779	0,970	2,234	0,065	3,11E-05	5,55E-03	6,91E-03	0,0125	0,0123	8,89E-03	8,16E-03	0,0170	0,0185
Viga 12	1	0,100	0,200	0,39	0,390	3,690	0,076	0,515	2	0,591	0,780	1,761	0,1	6,67E-05	1,84E-03	2,43E-03	0,0043	0,0123	2,95E-03	2,87E-03	0,0058	0,01845
Viga 13	1	0,150	0,160	0,39	0,355	3,680	0,151	0,469	2	0,620	0,710	1,685	0,08	5,12E-05	2,63E-03	3,01E-03	0,0056	0,0123	4,20E-03	3,55E-03	0,0078	0,0184
Viga 14	1	0,100	0,200	0,32	0,320	3,670	0,076	0,422	2	0,498	0,640	1,458	0,1	6,67E-05	1,52E-03	1,95E-03	0,0035	0,0122	2,44E-03	2,31E-03	0,0047	0,01835
Viga 15	1	0,140	0,140	0,32	0,305	3,660	0,097	0,403	2	0,500	0,610	1,415	0,07	1,89E-05	5,63E-03	6,87E-03	0,0125	0,0122	9,00E-03	8,11E-03	0,0171	0,0183
Viga 16	1	0,100	0,200	0,29	0,290	3,765	0,076	0,383	2	0,459	0,580	1,329	0,1	6,67E-05	1,55E-03	1,96E-03	0,0035	0,0126	2,48E-03	2,32E-03	0,0048	0,018825
Viga 17	1	0,150	0,150	0,29	0,145	3,640	0,111	0,191	2	0,303	0,290	0,738	0,075	2,49E-05	2,53E-03	2,43E-03	0,0050	0,0121	4,05E-03	2,86E-03	0,0069	0,0182
Pavimento Piso 2																						
Viga 1	2	0,170	0,140	0,200	0,305	3,470	0,150	0,403	2	0,553	0,610	1,468	0,07	3,89E-05	2,44E-03	2,69E-03	0,0051	0,0116	3,90E-03	3,18E-03	0,0071	0,01735
Viga 2	2	0,100	0,200	0,410	0,410	3,470	0,076	0,541	2	0,617	0,820	1,847	0,1	6,67E-05	1,51E-03	2,00E-03	0,0035	0,0116	2,41E-03	2,36E-03	0,0048	0,01735
Viga 3	2	0,150	0,150	0,410	0,400	3,470	0,111	0,528	2	0,639	0,800	1,839	0,075	2,49E-05	4,42E-03	5,52E-03	0,0099	0,0116	7,06E-03	6,52E-03	0,0136	0,01735
Viga 4	2	0,100	0,200	0,390	0,390	3,470	0,076	0,515	2	0,591	0,780	1,761	0,1	6,67E-05	1,44E-03	1,90E-03	0,0033	0,0116	2,31E-03	2,25E-03	0,0046	0,01735
Viga 5	2	0,190	0,120	0,390	0,405	3,470	0,144	0,535	2	0,678	0,810	1,893	0,06	2,74E-05	4,25E-03	5,08E-03	0,0093	0,0116	6,81E-03	6,00E-03	0,0128	0,01735
Viga 6	2	0,100	0,200	0,420	0,420	3,470	0,076	0,554	2	0,630	0,840	1,890	0,1	6,67E-05	1,54E-03	2,05E-03	0,0036	0,0116	2,46E-03	2,42E-03	0,0049	0,01735
Viga 7	2	0,170	0,170	0,420	0,435	3,470	0,143	0,574	2	0,717	0,870	2,022	0,085	4,10E-05	3,00E-03	3,64E-03	0,0066	0,0116	4,80E-03	4,30E-03	0,0091	0,01735
Viga 8	2	0,100	0,200	0,450	0,450	3,470	0,076	0,594	2	0,670	0,900	2,020	0,1	6,67E-05	1,64E-03	2,20E-03	0,0038	0,0116	2,62E-03	2,59E-03	0,0052	0,01735
Viga 9	2	0,180	0,130	0,450	0,425	3,470	0,147	0,561	2	0,708	0,850	1,983	0,065	3,30E-05	3,69E-03	4,43E-03	0,0081	0,0116	5,90E-03	5,22E-03	0,0111	0,01735
Viga 10	2	0,100	0,200	0,400	0,395	3,470	0,076	0,521	2	0,597	0,790	1,782	0,1	6,67E-05	1,46E-03	1,93E-03	0,0034	0,0116	2,33E-03	2,28E-03	0,0046	0,01735
Viga 11	2	0,100	0,200	0,390	0,370	3,470	0,076	0,488	2	0,564	0,740	1,674	0,1	6,67E-05	1,38E-03	1,81E-03	0,0032	0,0116	2,20E-03	2,13E-03	0,0043	0,01735
Pavimento Piso 2																						
Viga 1	3	0,140	0,200	0,530	0,465	3,640	0,106	0,614	2	0,720	0,930	2,115	0,1	9,33E-05	1,52E-03	1,96E-03	0,0035	0,0121	2,43E-03	2,32E-03	0,0047	0,0182
Viga 2	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,630	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,77E-03	2,34E-03	0,0041	0,0121	2,83E-03	2,76E-03	0,0056	0,01815
Viga 3	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,620	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,75E-03	2,31E-03	0,0041	0,0121	2,79E-03	2,73E-03	0,0055	0,0181
Viga 4	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,610	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,73E-03	2,29E-03	0,0040	0,0120	2,76E-03	2,70E-03	0,0055	0,01805
Viga 5	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,600	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,71E-03	2,26E-03	0,0040	0,0120	2,73E-03	2,67E-03	0,0054	0,018
Viga 6	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,590	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,69E-03	2,24E-03	0,0039	0,0120	2,70E-03	2,64E-03	0,0053	0,01795
Viga 7	3	0,100	0,200	0,400	0,375	3,580	0,076	0,495	2	0,571	0,750	1,696	0,1	6,67E-05	1,58E-03	2,07E-03	0,0037	0,0119	2,53E-03	2,45E-03	0,0050	0,0179
Pavimento Piso 2																						
Viga 1	4	0,100	0,200	0,400	0,400	1,090	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,44E-05	1,90E-05	0,0000	0,0036	2,30E-05	2,24E-05	0,000045	0,00545
Viga 2	4	0,100	0,200	0,400	0,400	1,090	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,44E-05	1,90E-05	0,0000	0,0036	2,30E-05	2,24E-05	0,000045	0,00545
Viga 3	4	0,100	0,200	0,400	0,400	1,090	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,44E-05	1,90E-05	0,0000	0,0036	2,30E-05	2,24E-05	0,000045	0,00545
Viga 4	4	0,100	0,200	0,400	0,400	1,090	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,44E-05	1,90E-05	0,0000	0,0036	2,30E-05	2,24E-05	0,000045	0,00545
Viga 5	4	0,100	0,200	0,400	0,465	1,090	0,076	0,614	2	0,690	0,930	2,085	0,1	6,67E-05	1,64E-05	2,21E-05	0,0000	0,0036	2,62E-05	2,61E-05	0,0001	0,00545

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELU							Carregamento		Combinação de ações				Tensões atuantes			Tensões resistentes		Verificação ELU				
							Peso próprio (kN/m)		Sobrecarga (kN/m2)	Permanente s (G)	Variáveis (Q)	Combinação P	Flexão			Corte		Flexão	Corte	Rácio		
Pavimento Piso 3							Vigas	Soalho	Soalho							ly (m4)	Msd (kN/m)	Tm,d (Mpa)	Vsd (kN)	Tv,d (Mpa)	fm,d (Mpa)	fv,d (Mpa)
Viga 1	1	0,08	0,22	0,11	0,215	3,82	0,111	0,2838	2	0,395	0,430	1,178	0,000071	2,148	3,329	2,250	0,192	19,20000	2,56	0,173	0,075	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,320	0,320	3,810	0,076	0,4224	2	0,498	0,640	1,633	0,000067	2,963	4,444	3,111	0,233	15,360	1,728	0,289	0,135	
Viga 3	1	0,080	0,220	0,320	0,305	3,810	0,111	0,4026	2	0,513	0,610	1,608	0,000071	2,918	4,522	3,064	0,261	19,200	2,56	0,236	0,102	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,290	0,290	3,800	0,076	0,3828	2	0,459	0,580	1,489	0,000067	2,688	4,032	2,830	0,212	15,360	1,728	0,263	0,123	
Viga 5	1	0,080	0,220	0,290	0,250	3,790	0,111	0,33	2	0,441	0,500	1,345	0,000071	2,415	3,743	2,549	0,217	19,200	2,56	0,195	0,085	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,210	0,305	3,780	0,076	0,403	2	0,479	0,610	1,561	0,000067	2,788	4,182	2,950	0,221	15,360	1,728	0,272	0,128	
Viga 7	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,581	5,371	3,799	0,285	15,360	1,728	0,350	0,165	
Viga 8	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,760	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,562	5,342	3,789	0,284	15,360	1,728	0,348	0,164	
Viga 9	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,524	5,286	3,769	0,283	15,360	1,728	0,344	0,164	
Viga 10	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163	
Viga 11	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163	
Pavimento Piso 3																						
Viga 1	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,710	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,468	5,201	3,739	0,280	15,360	1,728	0,339	0,162	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163	
Viga 3	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,486	5,229	3,749	0,281	15,360	1,728	0,340	0,163	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163	
Viga 5	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,505	5,258	3,759	0,282	15,360	1,728	0,342	0,163	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,524	5,286	3,769	0,283	15,360	1,728	0,344	0,164	
Viga 7	1	0,140	0,200	0,40	0,400	3,740	0,106	0,528	2	0,634	0,800	2,056	0,000093	3,596	3,852	3,846	0,206	15,360	1,728	0,251	0,119	
Pavimento Piso 3																						
Viga 1	3	0,140	0,200	0,53	0,465	3,770	0,106	0,614	2	0,720	0,930	2,367	0,000093	4,206	4,506	4,462	0,239	15,360	1,728	0,293	0,138	
Viga 2	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,581	5,371	3,799	0,285	15,360	1,728	0,350	0,165	
Viga 3	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,780	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,600	5,399	3,809	0,286	15,360	1,728	0,352	0,165	
Viga 4	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,619	5,428	3,819	0,286	15,360	1,728	0,353	0,166	
Viga 5	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,619	5,428	3,819	0,286	15,360	1,728	0,353	0,166	
Viga 6	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,638	5,457	3,829	0,287	15,360	1,728	0,355	0,166	
Viga 7	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,638	5,457	3,829	0,287	15,360	1,728	0,355	0,166	
Viga 8	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,810	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	3,657	5,485	3,839	0,288	15,360	1,728	0,357	0,167	
Viga 9	3	0,100	0,200	0,40	0,300	3,810	0,076	0,396	2	0,472	0,600	1,537	0,000067	2,789	4,184	2,928	0,220	15,360	1,728	0,272	0,127	
Pavimento Piso 3																						
Viga 1	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,218	0,327	0,937	0,070	15,360	1,728	0,021	0,041	
Viga 2	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,223	0,334	0,947	0,071	15,360	1,728	0,022	0,041	
Viga 3	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,223	0,334	0,947	0,071	15,360	1,728	0,022	0,041	
Viga 4	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,950	0,076	0,528	2	0,604	0,800	2,015	0,000067	0,227	0,341	0,957	0,072	15,360	1,728	0,022	0,042	
Viga 5	4	0,100	0,200	0,400	0,465	0,950	0,076	0,614	2	0,690	0,930	2,326	0,000067	0,262	0,394	1,105	0,083	15,360	1,728	0,026	0,048	

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELS							Carregamento			Combinação de ações			Cálculo da inércia		Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo				Verificação
Pavimento Piso 3	Zona	b (m)	h (m)	Espaçamento (m)	L influência (m)	Vão (m)	Peso próprio (KN/m)		Sobrecarga (KN/m2)	Permanentes (g)	Variáveis (Q)	Combinação p	y	Iy	u _{i,inst,G} (m)	u _{i,inst,Q} (m)	u _{i,inst,final} (m)	> L/300	u _{f,fin,G} (m)	u _{f,fin,Q} (m)	u _{f,final} (m)	> L/200	
							Vigas	Soalho	Soalho														
Viga 1	1	0,08	0,22	0,11	0,215	3,82	0,000	0,2838	2	0,284	0,430	0,9288	0,11	7,10E-05	1,01E-03	1,53E-03	0,0025	0,01273	1,61E-03	1,80E-03	0,00341	0,01910	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,320	0,320	3,810	0,076	0,4224	2	0,498	0,640	1,4584	0,1	6,67E-05	1,86E-03	2,39E-03	0,0043	0,01270	2,98E-03	2,83E-03	0,00581	0,01905	
Viga 3	1	0,080	0,220	0,320	0,305	3,810	0,111	0,4026	2	0,513	0,610	1,42848	0,11	7,10E-05	1,80E-03	2,14E-03	0,0039	0,01270	2,89E-03	2,53E-03	0,00542	0,01905	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,290	0,290	3,800	0,076	0,3828	2	0,459	0,580	1,3288	0,1	6,67E-05	1,70E-03	2,15E-03	0,0038	0,01267	2,72E-03	2,53E-03	0,00525	0,01900	
Viga 5	1	0,080	0,220	0,290	0,250	3,790	0,111	0,33	2	0,441	0,500	1,19088	0,11	7,10E-05	1,52E-03	1,72E-03	0,0032	0,01263	2,43E-03	2,03E-03	0,00446	0,01895	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,210	0,305	3,780	0,076	0,403	2	0,479	0,610	1,3936	0,1	6,67E-05	1,73E-03	2,21E-03	0,0039	0,01260	2,78E-03	2,61E-03	0,00539	0,01890	
Viga 7	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,05E-03	2,72E-03	0,0048	0,01257	3,29E-03	3,21E-03	0,00650	0,01885	
Viga 8	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,760	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,03E-03	2,69E-03	0,0047	0,01253	3,25E-03	3,18E-03	0,00643	0,01880	
Viga 9	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,99E-03	2,64E-03	0,0046	0,01247	3,18E-03	3,11E-03	0,00629	0,01870	
Viga 10	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 11	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,95E-03	2,58E-03	0,0045	0,01240	3,12E-03	3,04E-03	0,00616	0,01860	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,710	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,93E-03	2,55E-03	0,0045	0,01237	3,08E-03	3,01E-03	0,00609	0,01855	
Viga 2	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,95E-03	2,58E-03	0,0045	0,01240	3,12E-03	3,04E-03	0,00616	0,01860	
Viga 3	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,720	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,95E-03	2,58E-03	0,0045	0,01240	3,12E-03	3,04E-03	0,00616	0,01860	
Viga 4	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 5	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,730	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,97E-03	2,61E-03	0,0046	0,01243	3,15E-03	3,08E-03	0,00623	0,01865	
Viga 6	1	0,100	0,200	0,40	0,400	3,740	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	1,99E-03	2,64E-03	0,0046	0,01247	3,18E-03	3,11E-03	0,00629	0,01870	
Viga 7	1	0,140	0,200	0,40	0,400	3,740	0,106	0,528	2,000	0,634	0,800	1,8344	0,1	9,33E-05	1,49E-03	1,88E-03	0,0034	0,01247	2,39E-03	2,22E-03	0,00461	0,01870	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	3	0,140	0,200	0,53	0,465	3,770	0,106	0,614	2,000	0,720	0,930	2,1152	0,1	9,33E-05	1,75E-03	2,26E-03	0,0040	0,01257	2,80E-03	2,67E-03	0,00547	0,01885	
Viga 2	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,770	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,05E-03	2,72E-03	0,0048	0,01257	3,29E-03	3,21E-03	0,00650	0,01885	
Viga 3	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,780	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,08E-03	2,75E-03	0,0048	0,01260	3,32E-03	3,24E-03	0,00657	0,01890	
Viga 4	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,10E-03	2,78E-03	0,0049	0,01263	3,36E-03	3,28E-03	0,00664	0,01895	
Viga 5	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,790	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,10E-03	2,78E-03	0,0049	0,01263	3,36E-03	3,28E-03	0,00664	0,01895	
Viga 6	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,12E-03	2,81E-03	0,0049	0,01267	3,39E-03	3,31E-03	0,00671	0,01900	
Viga 7	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,800	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,12E-03	2,81E-03	0,0049	0,01267	3,39E-03	3,31E-03	0,00671	0,01900	
Viga 8	3	0,100	0,200	0,40	0,400	3,810	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	2,14E-03	2,84E-03	0,0050	0,01270	3,43E-03	3,35E-03	0,00678	0,01905	
Viga 9	3	0,100	0,200	0,40	0,300	3,810	0,076	0,396	2,000	0,472	0,600	1,372	0,1	6,67E-05	1,67E-03	2,13E-03	0,0038	0,01270	2,68E-03	2,51E-03	0,00519	0,01905	
Pavimento Piso 3																							
Viga 1	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,930	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,61E-06	1,01E-05	0,00002	0,00310	1,22E-05	1,19E-05	0,00002	0,00465	
Viga 2	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,94E-06	1,05E-05	0,00002	0,00313	1,27E-05	1,24E-05	0,00003	0,00470	
Viga 3	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,940	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	7,94E-06	1,05E-05	0,00002	0,00313	1,27E-05	1,24E-05	0,00003	0,00470	
Viga 4	4	0,100	0,200	0,400	0,400	0,950	0,076	0,528	2,000	0,604	0,800	1,804	0,1	6,67E-05	8,28E-06	1,10E-05	0,00002	0,00317	1,33E-05	1,29E-05	0,00003	0,00475	
Viga 5	4	0,100	0,200	0,400	0,465	0,950	0,076	0,614	2,000	0,690	0,930	2,0848	0,1	6,67E-05	9,46E-06	1,28E-05	0,00002	0,00317	1,51E-05	1,50E-05	0,00003	0,00475	

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELU							Carregamento			Combinação de ações			Tensões atuantes					Tensões resistentes		Verificação ELU		
							Peso próprio (KN/m2)		Peso próprio (KN/m)	Sobrecarga (KN/m2)	Permanente s(G)	Variáveis (Q)	Combinação p	Flexão			Corte		Flexão	Corte	Rácio	
Novo pavimento							Vigas	Revestimentos	Revestimentos	Soalho						ly (m4)	Msd (KN/m)	Tm,d (Mpa)	Vsd (KN)	Tv,d (Mpa)	fm,d (Mpa)	fv,d (Mpa)
Viga 1	1	0,100	0,200	0,250	0,325	3,810	0,076	3,278	1,065	2	1,141	0,650	2,590	0,000067	4,699	7,048	4,933	0,370	15,360	1,728	0,459	0,214
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,705	8,558	6,006	0,450	15,360	1,728	0,557	0,261
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,675	8,513	5,990	0,449	15,360	1,728	0,554	0,260
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,836	2	0,912	0,510	2,056	0,000067	3,673	5,509	3,886	0,291	15,360	1,728	0,359	0,169
Viga 5	1	0,100	0,200	0,110	0,240	3,780	0,076	1,332	0,320	2	0,396	0,480	1,242	0,000067	2,217	3,326	2,346	0,176	15,360	1,728	0,217	0,102
Viga 6	1	0,100	0,200	0,370	0,385	3,770	0,076	1,332	0,513	2	0,589	0,770	1,923	0,000067	3,416	5,124	3,624	0,272	15,360	1,728	0,334	0,157
Viga 7	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,760	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,522	5,284	3,747	0,281	15,360	1,728	0,344	0,163
Viga 8	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,485	5,228	3,727	0,280	15,360	1,728	0,340	0,162
Viga 9	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,466	5,200	3,717	0,279	15,360	1,728	0,339	0,161
Viga 10	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,448	5,172	3,707	0,278	15,360	1,728	0,337	0,161
Novo pavimento																						
Viga 1	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,710	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,429	5,144	3,697	0,277	15,360	1,728	0,335	0,160
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,448	5,172	3,707	0,278	15,360	1,728	0,337	0,161
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,448	5,172	3,707	0,278	15,360	1,728	0,337	0,161
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,466	5,200	3,717	0,279	15,360	1,728	0,339	0,161
Viga 5	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,466	5,200	3,717	0,279	15,360	1,728	0,339	0,161
Viga 6	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,485	5,228	3,727	0,280	15,360	1,728	0,340	0,162
Viga 7	1	0,140	0,200	0,400	0,400	3,740	0,106	1,332	0,533	2	0,639	0,800	2,039	0,000093	3,565	5,319	3,813	0,204	15,360	1,728	0,249	0,118
Novo pavimento																						
Viga 1	2	0,100	0,200	0,340	0,370	3,710	0,076	3,278	1,213	2	1,289	0,740	2,932	0,000067	5,045	7,568	5,439	0,408	15,360	1,728	0,493	0,236
Viga 2	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,468	8,201	5,879	0,441	15,360	1,728	0,534	0,255
Viga 3	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,497	8,245	5,895	0,442	15,360	1,728	0,537	0,256
Viga 4	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,527	8,290	5,911	0,443	15,360	1,728	0,540	0,257
Viga 5	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,770	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,616	8,423	5,958	0,447	15,360	1,728	0,548	0,259
Viga 6	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,770	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	3,161	0,000067	5,616	8,423	5,958	0,447	15,360	1,728	0,548	0,259
Viga 7	2	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,836	2	0,912	0,510	2,056	0,000067	3,673	5,509	3,886	0,291	15,360	1,728	0,359	0,169
Viga 8	2	0,100	0,200	0,110	0,255	3,790	0,076	1,332	0,340	2	0,416	0,510	1,312	0,000067	2,356	3,534	2,486	0,186	15,360	1,728	0,230	0,108
Viga 9	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,598	5,397	3,787	0,284	15,360	1,728	0,351	0,164
Viga 10	2	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,688	0,000067	3,063	4,594	3,215	0,241	15,360	1,728	0,299	0,140
Novo pavimento																						
Viga 1	3	0,140	0,200	0,530	0,465	3,770	0,106	1,332	0,619	2	0,726	0,930	2,344	0,000093	4,165	4,462	4,419	0,237	15,360	1,728	0,291	0,137
Viga 2	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,560	5,340	3,767	0,283	15,360	1,728	0,348	0,164
Viga 3	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,560	5,340	3,767	0,283	15,360	1,728	0,348	0,164
Viga 4	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,579	5,368	3,777	0,283	15,360	1,728	0,349	0,164
Viga 5	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,579	5,368	3,777	0,283	15,360	1,728	0,349	0,164
Viga 6	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,598	5,397	3,787	0,284	15,360	1,728	0,351	0,164
Viga 7	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,598	5,397	3,787	0,284	15,360	1,728	0,351	0,164
Viga 8	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,810	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,993	0,000067	3,617	5,425	3,797	0,285	15,360	1,728	0,353	0,165
Viga 9	3	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,688	0,000067	3,063	4,594	3,215	0,241	15,360	1,728	0,299	0,140

Diagnóstico e Proposta de Intervenção em Estruturas de Madeira de Edifício Existente. Estudo de Caso

ELS							Carregamento				Combinação de ações			Cálculo da inércia		Deformação instantânea			Verificação	Deformação a longo prazo			Verificação
Novo pavimento	Zona	b (m)	h (m)	Espaço (m)	L influência (m)	vão (m)	Peso próprio (KN/m2)		Sobrecarga (KN/m2)	Soalho	Permanentes (G)	Variáveis (Q)	Combinação p	γ	Iy	u,inst,G (m)	u,inst,Q (m)	u,inst,final (m)	L/300	u,fin,G (m)	u,fin,Q (m)	u,final (m)	L/200
							Vigas	Revestimentos															
Viga 1	1	0,100	0,200	0,250	0,325	3,810	0,076	3,278	1,065	2	1,141	0,650	2,019	0,1	6,667E-05	4,049E-03	2,306E-03	0,006	0,013	6,479E-03	2,721E-03	0,0092	0,01905
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,870E-03	2,809E-03	0,008	0,013	7,792E-03	3,314E-03	0,0111	0,019
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,819E-03	2,779E-03	0,008	0,013	7,711E-03	3,279E-03	0,0110	0,01895
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,836	2	0,912	0,510	1,600	0,1	6,667E-05	3,135E-03	1,753E-03	0,005	0,013	5,015E-03	2,069E-03	0,0071	0,0189
Viga 5	1	0,100	0,200	0,110	0,240	3,780	0,076	1,332	0,320	2	0,396	0,480	1,044	0,1	6,667E-05	1,360E-03	1,650E-03	0,003	0,013	2,176E-03	1,947E-03	0,0041	0,0189
Viga 6	1	0,100	0,200	0,370	0,385	3,770	0,076	1,332	0,513	2	0,589	0,770	1,628	0,1	6,667E-05	2,003E-03	2,619E-03	0,005	0,013	3,204E-03	3,090E-03	0,0063	0,01885
Viga 7	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,760	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,049E-03	2,692E-03	0,005	0,013	3,278E-03	3,177E-03	0,0065	0,0188
Viga 8	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,006E-03	2,635E-03	0,005	0,012	3,209E-03	3,110E-03	0,0063	0,0187
Viga 9	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 10	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Novo pavimento																							
Viga 1	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,710	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,942E-03	2,552E-03	0,004	0,012	3,107E-03	3,011E-03	0,0061	0,01855
Viga 2	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Viga 3	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,963E-03	2,579E-03	0,005	0,012	3,141E-03	3,044E-03	0,0062	0,0186
Viga 4	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 5	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	1,984E-03	2,607E-03	0,005	0,012	3,175E-03	3,077E-03	0,0063	0,01865
Viga 6	1	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,006E-03	2,635E-03	0,005	0,012	3,209E-03	3,110E-03	0,0063	0,0187
Viga 7	1	0,140	0,200	0,400	0,400	3,740	0,106	1,332	0,533	2	0,639	0,800	1,719	0,1	9,333E-05	1,504E-03	1,882E-03	0,003	0,012	2,407E-03	2,221E-03	0,0046	0,0187
Novo pavimento																							
Viga 1	2	0,100	0,200	0,340	0,370	3,710	0,076	3,278	1,213	2	1,289	0,740	2,288	0,1	6,667E-05	4,111E-03	2,360E-03	0,006	0,012	6,578E-03	2,785E-03	0,0094	0,01855
Viga 2	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,720	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,473E-03	2,579E-03	0,007	0,012	7,157E-03	3,044E-03	0,0102	0,0186
Viga 3	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,730	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,521E-03	2,607E-03	0,007	0,012	7,234E-03	3,077E-03	0,0103	0,01865
Viga 4	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,740	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,570E-03	2,635E-03	0,007	0,012	7,312E-03	3,110E-03	0,0104	0,0187
Viga 5	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,770	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,718E-03	2,721E-03	0,007	0,013	7,549E-03	3,211E-03	0,0108	0,01885
Viga 6	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,770	0,076	3,278	1,311	2	1,387	0,800	2,467	0,1	6,667E-05	4,718E-03	2,721E-03	0,007	0,013	7,549E-03	3,211E-03	0,0108	0,01885
Viga 7	2	0,100	0,200	0,400	0,255	3,780	0,076	3,278	0,836	2	0,912	0,510	1,600	0,1	6,667E-05	3,135E-03	1,753E-03	0,005	0,013	5,015E-03	2,069E-03	0,0071	0,0189
Viga 8	2	0,100	0,200	0,110	0,255	3,790	0,076	1,332	0,340	2	0,416	0,510	1,104	0,1	6,667E-05	1,444E-03	1,772E-03	0,003	0,013	2,310E-03	2,091E-03	0,0044	0,01895
Viga 9	2	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 10	2	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,427	0,1	6,667E-05	1,853E-03	2,377E-03	0,004	0,013	2,964E-03	2,805E-03	0,0058	0,01905
Novo pavimento																							
Viga 1	3	0,140	0,200	0,530	0,465	3,770	0,106	1,332	0,619	2	0,726	0,930	1,981	0,1	9,333E-05	1,763E-03	2,259E-03	0,004	0,013	2,821E-03	2,666E-03	0,0055	0,01885
Viga 2	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,093E-03	2,750E-03	0,005	0,013	3,348E-03	3,245E-03	0,0066	0,0189
Viga 3	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,780	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,093E-03	2,750E-03	0,005	0,013	3,348E-03	3,245E-03	0,0066	0,0189
Viga 4	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,115E-03	2,779E-03	0,005	0,013	3,384E-03	3,279E-03	0,0067	0,01895
Viga 5	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,790	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,115E-03	2,779E-03	0,005	0,013	3,384E-03	3,279E-03	0,0067	0,01895
Viga 6	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 7	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,800	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,137E-03	2,809E-03	0,005	0,013	3,420E-03	3,314E-03	0,0067	0,019
Viga 8	3	0,100	0,200	0,400	0,400	3,810	0,076	1,332	0,533	2	0,609	0,800	1,689	0,1	6,667E-05	2,160E-03	2,838E-03	0,005	0,013	3,456E-03	3,349E-03	0,0068	0,01905
Viga 9	3	0,100	0,200	0,400	0,335	3,810	0,076	1,332	0,446	2	0,522	0,670	1,427	0,1	6,667E-05	1,853E-03	2,377E-03	0,004	0,013	2,964E-03	2,805E-03	0,0058	0,01905