



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Civil



**Reabilitação do edifício localizado na rua Miguel Bombarda
n.º 69 em Loulé**

EDGAR MANUEL SERRANO SILVA
LICENCIADO

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, na área de
especialização de edificações

Orientadores:

Licenciado, Bruno Filipe Carloto Caldeira
Doutor, Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Júri:

Presidente: Doutor, João Alfredo Ferreira dos Santos

Vogais:

Mestre, Manuel Brazão de Castro Farinha

Dezembro 2013





Agradecimentos

Agradeço a todos os meus colegas, professores, amigos e familiares pelo apoio e colaboração que me prestaram na realização do meu mestrado.



Índice

Resumo	8
Palavras-chave	8
Abstract	9
Keywords.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Enquadramento do trabalho	10
1.2 Objectivos	10
1.3 Metodologia	10
1.4 Estrutura	11
2. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO E SUA LOCALIZAÇÃO	12
2.1 Situação existente.....	14
2.1.1 Envolvente exterior:.....	16
2.1.2 Interior	22
1. Piso térreo.....	22
2. 1º Piso.....	26
3. Sótão	29
4. Cobertura	33
3. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO	36
3.1 Intervenção estrutural.....	38
3.1.1 Cobertura	38
3.1.2 Pavimento no sótão	39
3.1.3 Caixa de escada metálica entre 1º piso e o sótão.....	42
3.1.4 Escada de acesso ao sótão.....	43
3.1.5 Reparações de fissuras em paredes e tectos	43
3.1.6 Recolocação de carregamento adequado no extradorso das abóbadas do piso térreo, de modo a evitar fissuras, e consolidação das mesmas.	44
3.2 Intervenção não-estrutural.....	44
3.2.1 Eliminação de paredes interiores do piso térreo	44



3.2.2	Eliminação de paredes interiores do 1º piso	45
3.2.3	Aplicação de paredes divisórias no rés-do-chão, no 1º piso e sótão.....	45
3.2.4	Picagem e aplicação de reboco nas paredes interiores e abobadas.....	46
3.2.5	Renovação do pavimento existente no piso térreo e 1º piso.....	47
3.2.6	Recuperação das cantarias dos vãos exteriores.....	47
3.2.7	Recuperação das carpintarias dos vão exteriores no rés-do-chão e das janelas dos pisos superiores.....	56
3.2.8	Recuperação de rebocos exteriores dos pisos superiores.....	56
3.2.9	Recuperação de gradeamentos nos vãos das janelas do 1º piso	57
3.2.10	Reabilitação da cobertura	57
4.	ANALISE ESTRUTURAL.....	59
4.1	Cargas aplicadas	59
4.1.1	Cobertura	59
4.1.1.1	Sobrecarga	59
4.1.2	Vento.....	60
4.1.2.1	Vento na cobertura.....	60
4.1.2.2	Vento nas paredes	60
4.1.3	Estrutura da cobertura	61
4.1.4	Pavimentos.....	62
4.1.5	Paredes de alvenaria.....	62
4.1.6	Escada metálica de acesso ao sótão.....	63
4.1.7	Sismo	64
4.2	Modelo estrutural	64
4.2.1	Piso térreo e fundações.....	65
4.2.2	Paredes exteriores do edifício e interiores do piso térreo.....	66
4.2.3	Pavimentos.....	66
4.2.4	Caixa de escada do 1º piso	66
4.2.5	Cobertura	66
4.3	Combinações de acções	66



5. DIMENSIONAMENTO	68
5.1 Elementos de madeira	68
5.1.1 Asnas	68
5.1.2 Madres	69
5.2 Elementos de metálicos	70
5.2.1 Vigas principais	70
5.2.2 Vigas secundárias	71
5.3 Elementos de alvenaria	72
5.3.1 Parede Sul	74
5.3.2 Parede Oeste	74
5.3.3 Parede Norte	75
5.3.4 Abóbadas do rés-do-chão	76
6. CONCLUSÕES	78
Bibliografia	79
Anexos	82

Índice de figuras

Figura 1 - Enquadramento geral do edifício na sua envolvente	12
Figura 2 - Aspecto geral do edifício	12
Figura 3 - Corte longitudinal do edifício existente	13
Figura 4 - corte transversal do edifício existente	13
Figura 5 - Aspecto geral da fachada sul	16
Figura 6 - Janela do 1º piso lado sul	16
Figura 7 - Vista do 1º piso lado oeste	17
Figura 8 - Detalhe da cantaria e caixilharia de um vão de janela	17
Figura 9 - 1º piso da fachada norte	18
Figura 10 - Rés-do-chão da fachada oeste	18
Figura 11 -- Pormenor da janela do piso térreo da fachada norte	19
Figura 12e 12a - Pormenores de cantaria de vãos exteriores do piso térreo da fachada norte	19
Figura 13- vista geral da loja no piso térreo	22
Figura 14 - Reboco apresentando destacamentos pontuais na abóbada	22



Figura 15 - Reboco degradado numa parede da loja	23
Figura 16 - Acesso à contra-loja	23
Figura 17 - reboco degradado na contra-loja	24
Figura 18 - Reboco da parede e abóbada degradada na oficina.....	24
Figura 19- Patologias do rés-do-chão do prédio	25
Figura 20 - pavimento de madeira da sala degradado	26
Figura 21- tecto de madeira decorado	27
Figura 22- reboco degradado em parede.....	27
Figura 23- Patologias do 1º piso	28
Figura 24- Vista geral do sótão	29
Figura 25- Estrutura de madeira da cobertura.....	30
Figura 26- Apoio das asnas na parede	30
Figura 27- Apoios na parede existente	31
Figura 28 - Pormenor de ligação da asna	31
Figura 29- Escada de acesso ao sótão.....	32
Figura 30- Localização em planta das patologias do sótão.....	33
Figura 31- Bom estado de conservação das telhas	34
Figura 32- Zona de acesso à cobertura	34
Figura 33- Platibanda necessitando de limpeza superficial e conservação pontual	34
Figura 34- Localização em planta das patologias na cobertura.....	35
Figura 35- Localização em planta dos perfis metálicos a aplicar no pavimento do sótão	41
Figura 36- piso térreo – proposta.....	45
Figura 37- Proposta do 1º piso.....	46
Figura 38- corte longitudinal do edifício – proposto.....	58
Figura 39- corte transversal do prédio – proposto.....	58
Figura 40– Coeficientes de pressão parcial exterior (cobertura)	60
Figura 41– Coeficientes de pressão parcial exterior (cobertura)	61
Figura 42- esquema estrutural da escada.....	63
Figura 43- Figura NA.I - Zonamento Sísmico em Portugal Continental (fonte: Eurocodigo 8)	64
Figura 44- Modelo estrutural elaborado no programa de cálculo estrutural (SAP2000)	65
Figura 45 - Diagrama de momentos flectores na asna da cobertura.....	69
Figura 46 - Diagrama dos momentos flectores de uma madre.....	70
Figura 47- Diagrama dos momentos flectores da viga principal	71



Figura 48 - Diagrama de momentos flectores de vigas secundárias	72
Figura 49 - Campo de tensões na parede sul	74
Figura 50 - Campo de tensões na parede oeste	75
Figura 51- Campo de tensões na parede norte.....	76
Figura 52- Campo de tensões nas abóbadas do rés-do-chão.....	77



Resumo

Os edifícios necessitam de realização de trabalhos de manutenção e conservação, não só para manter as suas utilizações actuais, mas como também para os adaptar a utilizações futuras diferentes.

Tendo em consideração que o território português está sujeito a acção sísmica que varia conforme a sua localização, os edifícios antigos são frequentemente danificados pelos movimentos provocados pelos sismos. Por isso, existe a necessidade do seu reforço estrutural.

A reabilitação de um edifício antigo, para corresponder às normas de conforto e segurança actuais, necessita de ter em conta a intervenção estrutural e, também a não-estrutural.

Desta forma, deve-se fazer um levantamento das suas patologias, perceber as suas causas, e propor um tratamento com vista à sua resolução, encontrando uma solução mais adequada a cada situação.

Assim e, no âmbito do tema apresentado, este trabalho pretende analisar e propor soluções, para a reabilitação de um edifício localizado em Loulé de acordo com os seguintes aspectos:

1. As suas patologias;
2. O estado de conservação do edifício;
3. Estratégias e intervenções de reabilitação e reforço estrutural
4. Considerações sobre as propostas de intervenção e sua melhoria no edifício.

Palavras-chave

Recuperação de edifícios

Reforço estrutural

Edifício antigo



Abstract

The buildings need to carry out maintenance and conservation, not only to maintain their current uses, but also how to adapt to future uses different from today.

Since the Portuguese territory is subject to seismic action that varies according to its location, the old buildings are often damaged by movements caused by earthquakes. Therefore, there is need for structural reinforcement of buildings.

The rehabilitation of an old building, to meet the standards of comfort and safety today, needs to take into account structural intervention as well as non-structural. Therefore, you should do a survey of their diseases, understand their causes, and propose a treatment to its resolution, but the proper building.

As part of the theme presented, this work aims to analyze and propose the rehabilitation of a building located in Loulé according to the following aspects:

1. Their pathologies;
2. The condition of the building;
3. Strategies and rehabilitation interventions and structural reinforcement
4. Comments on the proposals for intervention and improvement in their building.

Keywords

Rehabilitation of buildings

Structural reinforcement of buildings

Old building



1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do trabalho

A reabilitação de edifícios é uma área da engenharia civil que tem vindo a ter uma importância crescente nestes últimos anos. Assim e, considerando que a construção de edifícios novos tem vindo a diminuir, apresenta-se hoje em dia, a necessidade de realização de obras de conservação e reabilitação nos edifícios existentes, mantendo ou alterando a afectação da utilização ou funcionalidades do edificado (Anuário do Património n.º 1, 2012).

1.2 Objectivos

Com a divulgação deste trabalho, pretende-se realizar e analisar uma proposta de intervenção num edifício em alvenaria de pedra argamassada, tendo em conta os principais objectivos:

- Identificação das patologias;
- Identificação das principais causas que originam o aparecimento das patologias no edifício;
- Apresentação de diferentes propostas de intervenção consoante cada patologia;
- Escolha e apresentação das propostas de intervenção mais adequadas

1.3 Metodologia

A abordagem metodológica do trabalho baseou-se nos seguintes passos:

1. Obtenção e análise do projecto de arquitectura do edifício em estudo;
2. Visita ao local do edifício, com análise do seu estado de conservação e identificação das suas patologias com levantamento fotográfico;
3. Estudo sobre as patologias encontradas no edifício e diagnóstico sobre as mesmas. Escolha das melhores soluções e de metodologia de intervenção.

Este trabalho apoiou-se numa pesquisa bibliográfica baseada na consulta de livros e dissertações sobre o assunto em questão, a qual implicou o recurso a



suportes em papel e pesquisa na *internet*, recolhendo-se vários documentos, devidamente identificados no Capítulo 8 – Bibliografia. Foi também necessário recorrer a um programa de cálculo estrutural automático para efectuar uma modelação estrutural do edifício e verificar se, as intervenções a realizar seriam compatíveis com a estrutura existente.

1.4 Estrutura

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos:

Capítulo 1 – Introdução: Após uma breve introdução ao tema abordado, identifica-se os objectivos do trabalho, a metodologia utilizada e a estrutura da tese;

Capítulo 2 – Caracterização do edifício e sua localização: Descrição do edifício e da sua envolvente; Situação existente: Identificam-se as patologias do edifício;

Capítulo 3 – Proposta de intervenção: Apresentação das várias intervenções de acordo com as patologias existentes e escolha das mais adequadas;

Capítulo 4 e 5 – Análise estrutural e dimensionamento: Após a escolha das intervenções estruturais mais adequadas, foi criada uma modelação para verificar a segurança estrutural do edifício;

Capítulo 6 – Conclusões: Enumeração das conclusões desta dissertação.
Bibliografia



2. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO E SUA LOCALIZAÇÃO

O edifício está inserido no centro histórico de Loulé e tem uma orientação Este-Oeste tendo como principais delimitações as ruas 5 de Outubro, Miguel Bombarda e Largo São Francisco. O imóvel é datado do final do século XIX.



Figura 1 - Enquadramento geral do edifício na sua envolvente



Figura 2 - Aspecto geral do edifício



O edifício tem uma área de implantação de 165 m², apresentando as dimensões de acordo com a planta fornecida. O edifício é formado por dois pisos e um sótão de fácil acessibilidade. O pé-direito é de cerca de 3,50 m de altura entre cada piso



Figura 3 - Corte longitudinal do edifício existente

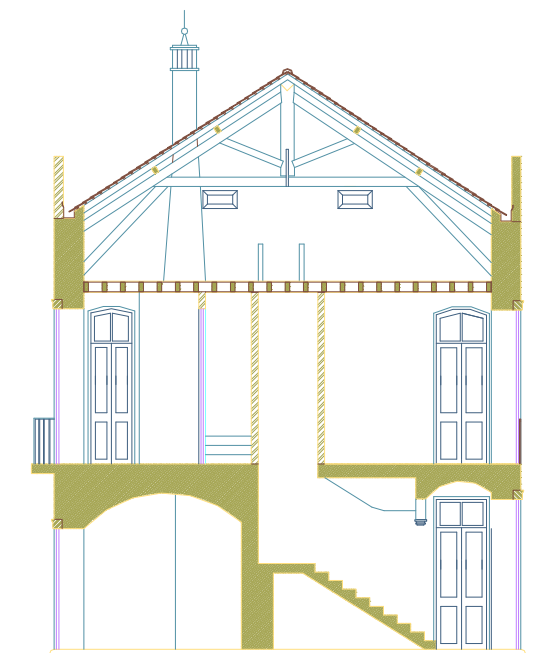


Figura 4 - corte transversal do edifício existente

O edifício é constituído por paredes exteriores em alvenaria de pedra argamassada, sendo que a cobertura do piso térreo é formado por abóbadas e o 1º piso com paredes em tabique e tecto em madeira, sendo esse comum ao pavimento do sótão.



A cobertura é composta por três águas, de revestimento a telha cerâmica tipo marselha e suportada por duas asnas e ripas.

Os vãos são constituídos por cantaria de pedra calcária tipo bordeira, como também os cunhais. A pedra calcária tipo bordeira é proveniente de sitio com o mesmo nome, pertencente à freguesia de Santa Barbara de Nexe, no concelho de Faro. É uma pedra utilizada correntemente nas cantarias daquela região do Algarve, como também para pavimentação.

2.1 Situação existente

A metodologia para a realização de levantamento estrutural e de anomalias pode ser descrita sumariamente pelos seguintes métodos (Mesquita, Dezembro 2012):

- *Levantamento arquitectónico: visa a determinar a geometria do envelope, utilizando técnicas de topografia, e/ou do interior, com o registo de medições em planimetria e em altimetria.*
- *Levantamento estrutural: Procede-se à identificação e localização dos elementos estruturais do edifício, definindo-se também a geometria das partes visíveis do mesmo.*
- *Levantamento dimensional: Visa a definição/verificação da geometria aparente das estruturas através de técnicas de topografia. Inclui-se a caracterização dos materiais de revestimento.*
- *Caracterização da secção dos elementos estruturais: implica, na maioria dos casos, a abertura de janelas de inspecção e/ou execução de furos com reduzido diâmetro, cujo interior é observado com um endoscópio.*
- *Caracterização das propriedades mecânicas.*
- *Reconhecimento da estrutura enterrada e do solo de fundação: Caso a intervenção o justifique, o levantamento poderá incidir também na caracterização das fundações*
- *Levantamento das anomalias visíveis: visa a caracterização e identificação das anomalias visíveis, a sua disposição e extensão nos elementos*

Neste trabalho fez-se somente um levantamento das anomalias visíveis, tendo como base o levantamento arquitectónico fornecido pelo projecto de arquitectura.



Realizou-se uma vistoria ao edifício para análise geral do seu estado de conservação e identificação das suas patologias.

O paramento exterior é composto por alvenaria de pedra revestida por reboco de argamassa de cal, tendo sido aplicado uma pintura de cor bege. Os vãos são compostos por portas e janelas em madeira, gradeamento metálico e ombreiras em cantaria.

Conclui-se que o paramento se encontra em bom estado de conservação, necessitando somente de intervenção superficial na recuperação do reboco, caixilharias, cantarias e carpintarias de vãos.

O interior do edifício apresenta-se com o reboco degradado nas paredes e abóbadas do rés-do-chão; pavimento de madeira, reboco de parede e tecto de madeira degradados no 1º piso, existindo também alguma fissuração nas paredes; pavimento e ripas de madeira do telhado degradados no sótão.

De seguida apresenta-se um levantamento das principais patologias existentes no edifício:



2.1.1 Envolvente exterior:

O exterior apresenta as seguintes patologias:

1. Reboco degradado no 1º piso. O contacto com os agentes atmosféricos ao longo de vários anos fez com que a parte superficial de protecção do reboco se degradasse,

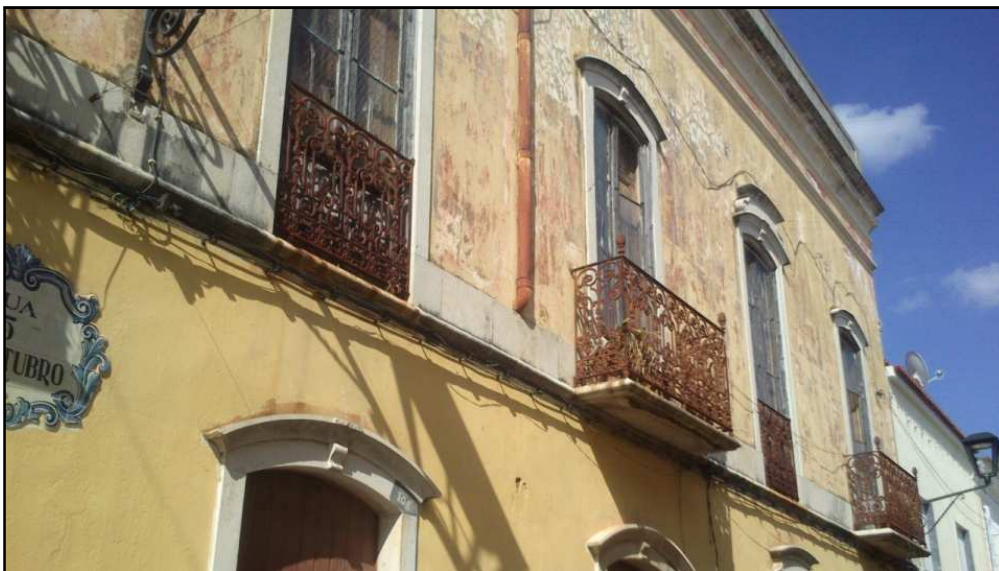


Figura 5 - Aspecto geral da fachada sul

2. Elementos metálicos oxidados nos balcões do 1º piso. Sendo que o edifício se encontra a pouca distância do mar, os gradeamentos são sujeitos a forte humidade, havendo condições propícias à oxidação.



Figura 6 - Janela do 1º piso lado sul



Figura 7 - Vista do 1º piso lado oeste

3. Na imagem abaixo observa-se que a caixilharia dos vãos se encontram em mau estado de conservação, devido à exposição a agentes atmosféricos, criando empenos nas madeiras e degradação dos seus revestimentos;



Figura 8 - Detalhe da cantaria e caixilharia de um vão de janela



Figura 9 - 1º piso da fachada norte

4. Superfícies de portas de madeira com pintura em mau estado de conservação, apresentando-se com alteração de cor na sua base. Devido aos agentes atmosféricos e ao efeito da radiação solar, a madeira das portas degradou-se, apresentando algumas lacunas na sua base. Os raios infravermelhos solares conjugados com os sucessivos ciclos de humidade e temperatura, provocam contracções e dilatações na madeira, tendo como consequência a existência de fendas (Appleton, 2003).



Figura 10 - Rés-do-chão da fachada oeste



5. Cantaria de pedra com sujidade e colonização biológica, e lascada pontualmente, como se observa nas imagens.

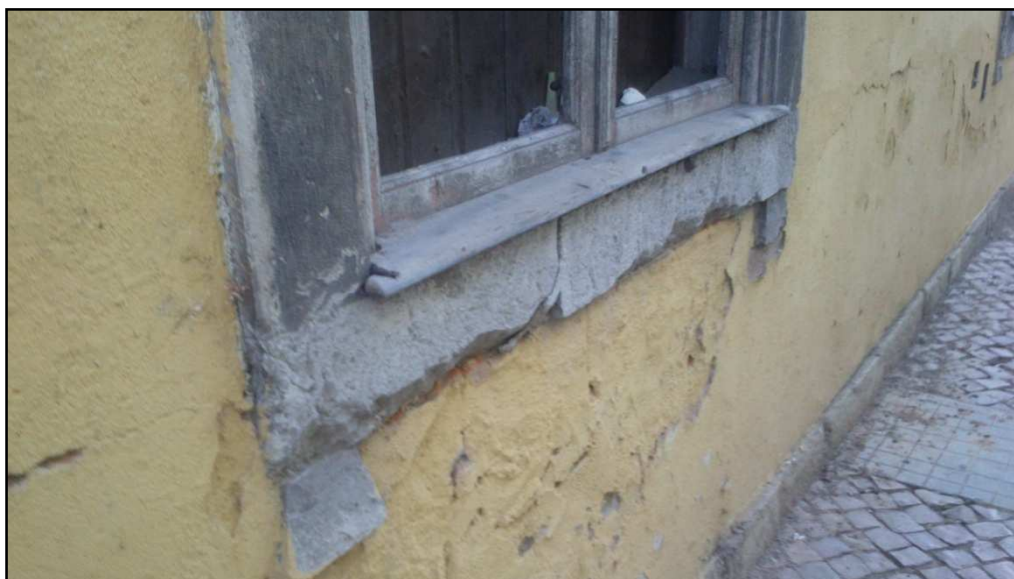


Figura 11 -- Pormenor da janela do piso térreo da fachada norte



Figura 12e 12a - Pormenores de cantaria de vãos exteriores do piso térreo da fachada norte



Principais causas de degradação de pedras de cantaria (Tavares, 2013) :

Expansão térmica - Toda edificação está sujeita a variações diárias e sazonais de temperatura. Tais variações térmicas são importantes fontes de tensões a nível estrutural provocado pela cíclica expansão e contracção térmica dos materiais.

As forças de dilatação e contracção térmica agem, mesmo em um material rígido e homogéneo como a pedra, de forma não uniforme. A superfície externa da pedra está mais exposta às variações térmicas do meio ambiente do que a sua estrutura interna, pois a exposição solar, as chuvas, as geadas, etc. agem mais directamente na superfície. O ciclo de variação de temperatura causa tensões diferenciais e consequentes tensões a nível estrutural.

Expansão devido à humidade – Em pedras que contêm argilas, como alguns arenitos, a expansão por absorção de água e a contracção provocada pela sua libertação podem causar importantes tensões, principalmente entre a superfície da pedra e sua parte interna, quando a superfície está molhada.

Cristalização de sais – É um dos maiores factores de degradação dos materiais porosos. Os sais solúveis se instalam nos poros da pedra, cristalizam-se pelo processo de evaporação e passam do estado líquido para o sólido, expandindo-se internamente dentro dos poros e causando tensões internas. Devido aos diversos factores causadores de humidade, os sais solúveis formam um ciclo de liquefacção e solidificação contínua, provocando tensões indesejáveis na estrutura interna da pedra.

Sabe-se também que, quanto maior a concentração de poros de menores dimensões, maiores são as tensões causadas por esse processo.

Erosão alveolar – Tipo de deterioração causada pela rápida cristalização de sais solúveis, principalmente na superfície da pedra, sujeita à acção de ventos e temperaturas mais elevadas que aceleram o processo de evaporação da humidade e provocam a consequente cristalização de sais. Superficialmente aparecem pequenos alvéolos, acelerando a desagregação superficial da cantaria.

Eflorescências – Trata-se de uma grande concentração de sais solúveis cristalizados na superfície dos materiais porosos. A eflorescência de sais acontece fora dos poros do material, por isso mesmo o grau de deterioração é menor. No entanto a eflorescência é um forte indicador de contaminação interna da pedra por sais solúveis, sendo causadores de tensões no interior da pedra.



Ataque da chuva - é prejudicial à cantaria porque o ar contém dióxido de carbono, que, dissolvido em água, forma ácido carbónico. Nessas condições, os calcários, as argamassas, a cal, e os mármorees podem ser transformados e gradualmente dissolvidos. Nos arenitos, por serem mais porosos, a penetração de água é mais profunda.

Poluição atmosférica - Os monumentos que estão inseridos nos grandes centros urbanos e industriais estão mais expostos à acção da poluição atmosférica. O ar poluído geralmente contém grandes concentrações de dióxido de enxofre (SO₂), que, na presença da água e do oxigénio do ar, transforma-se em ácido sulfúrico (H₂SO₄), forte o bastante para causar a deterioração de vários materiais mineralógicos. A cantaria recebe os depósitos de poluentes atmosféricos que vão se acumulando na superfície, escurecendo-a. Quando há uma grande concentração desses depósitos, forma-se uma camada de poluentes e fuligem que é chamada de “crosta negra”.

ATAQUE BIOLÓGICO:

Bactérias e fungos - Várias bactérias e fungos captam energia para sua sobrevivência através de reacções químicas. Como resultado, aparecem formações de ácidos que podem corroer os materiais de construção e até mesmo a pedra.

Algas - Frequentemente ocorrem ataques de algas nas superfícies de materiais de construção, principalmente em climas quentes e húmidos. Geralmente, o ataque é apenas superficial, sendo mais danoso em pinturas e superfícies de cantaria.

Líquenes - São formados pela associação de fungos e algas. Desenvolvem-se sobre as superfícies externas da cantaria. Alguns líquenes têm poder de penetração pela produção de ácidos orgânicos, outros têm menor penetração. Os danos causados pelos líquenes geralmente se iniciam superficialmente, desfigurando lentamente as superfícies decorativas.



2.1.2 Interior

1. Piso térreo

O piso encontra-se com reboco degradado e tem fissuras em paredes e abóbadas. As possíveis causas de degradação podem estar ligadas com os ciclos de humidade no verão e inverno que afectou o reboco, deteriorando-o e destacando placas.



Figura 13- vista geral da loja no piso térreo



Figura 14 - Reboco apresentando destacamentos pontuais na abóbada



Figura 15 - Reboco degradado numa parede da loja



Figura 16 - Acesso à contra-loja



Figura 17 - reboco degradado na contra-loja



Figura 18 - Reboco da parede e abóbada degradada na oficina



De seguida apresenta-se uma planta do rés-do-chão com as principais patologias:

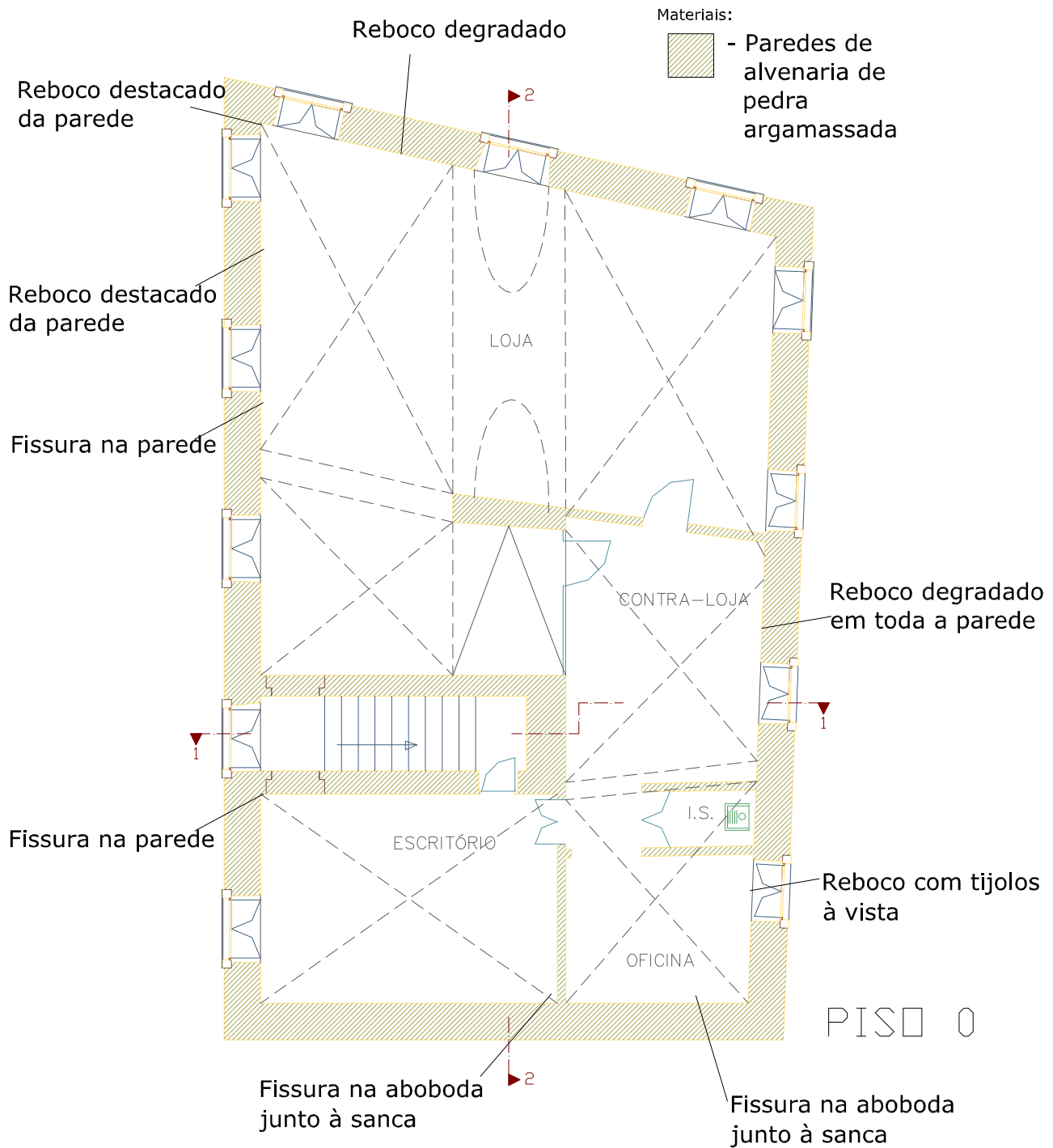


Figura 19- Patologias do rés-do-chão do prédio



2. 1º Piso

O piso encontra-se com fissuras nas paredes e algum reboco degradado. O pavimento e o teto de madeira encontram-se também degradados. Grande parte da madeira constituinte dos pavimentos está deteriorada, sendo umas das suas principais causas de deterioração a acção de insectos xilófagos e fungos, originando apodrecimento e diminuição de resistência mecânica e a desintegração da madeira.

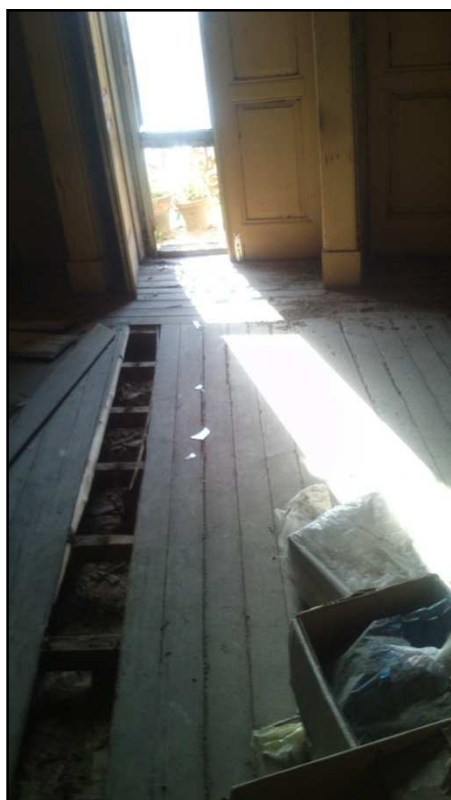


Figura 20 - pavimento de madeira da sala degradado



Figura 21- tecto de madeira decorado

As paredes apresentam o reboco degradado, com destacamentos pontuais, sendo que uma das possíveis causas é os ciclos de humidade do ar no inverno e secagem no verão, criando fragilidades nos rebocos.



Figura 22- reboco degradado em parede

Observou-se também uma fissura vertical num quarto junto à fachada principal do edifício, possivelmente devido a movimentos horizontais originados pelo deslocamento da estrutura da cobertura na ocorrência de sismos.



De seguida apresenta-se em planta, a localização das principais patologias do 1º piso.

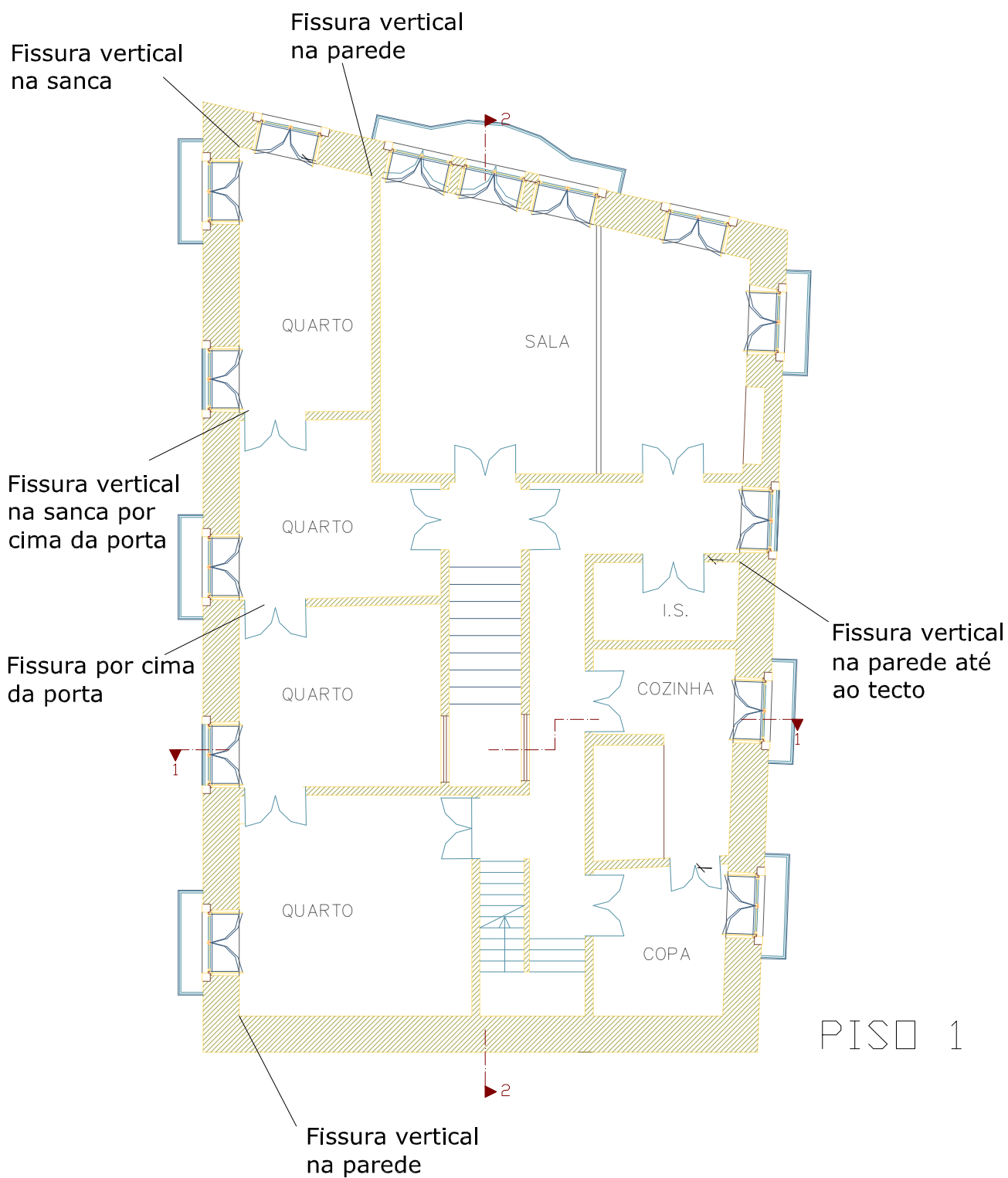


Figura 23- Patologias do 1º piso



3. Sótão

O pavimento de pranchas de madeira não apresenta resistência suficiente para utilização pretendida. A madeira encontra-se degradada, possivelmente devido à acção de insectos xilófagos e ao apodrecimento da madeira em presença de humidade que fez com diminuísse a sua resistência mecânica.

As asnas da cobertura encontram-se em bom estado de conservação, não sendo necessário substituí-las.

As ripas apresentam deformação excessiva e não são adequadas para suportar a colocação de isolamento térmico. Consequentemente, deverão ser substituídas.

A estrutura da cobertura, devido à deformação exercida por forças horizontais, originou fissuras verticais nas paredes que as suportam, conforme se observou no piso inferior.



Figura 24- Vista geral do sótão



Figura 25- Estrutura de madeira da cobertura



Figura 26- Apoio das asnas na parede



Figura 27- Apoios na parede existente



Figura 28 - Pormenor de ligação da asna



A escada de madeira de acesso ao sótão encontra-se degradada, com fraca resistência mecânica para uma utilização corrente.



Figura 29- Escada de acesso ao sótão

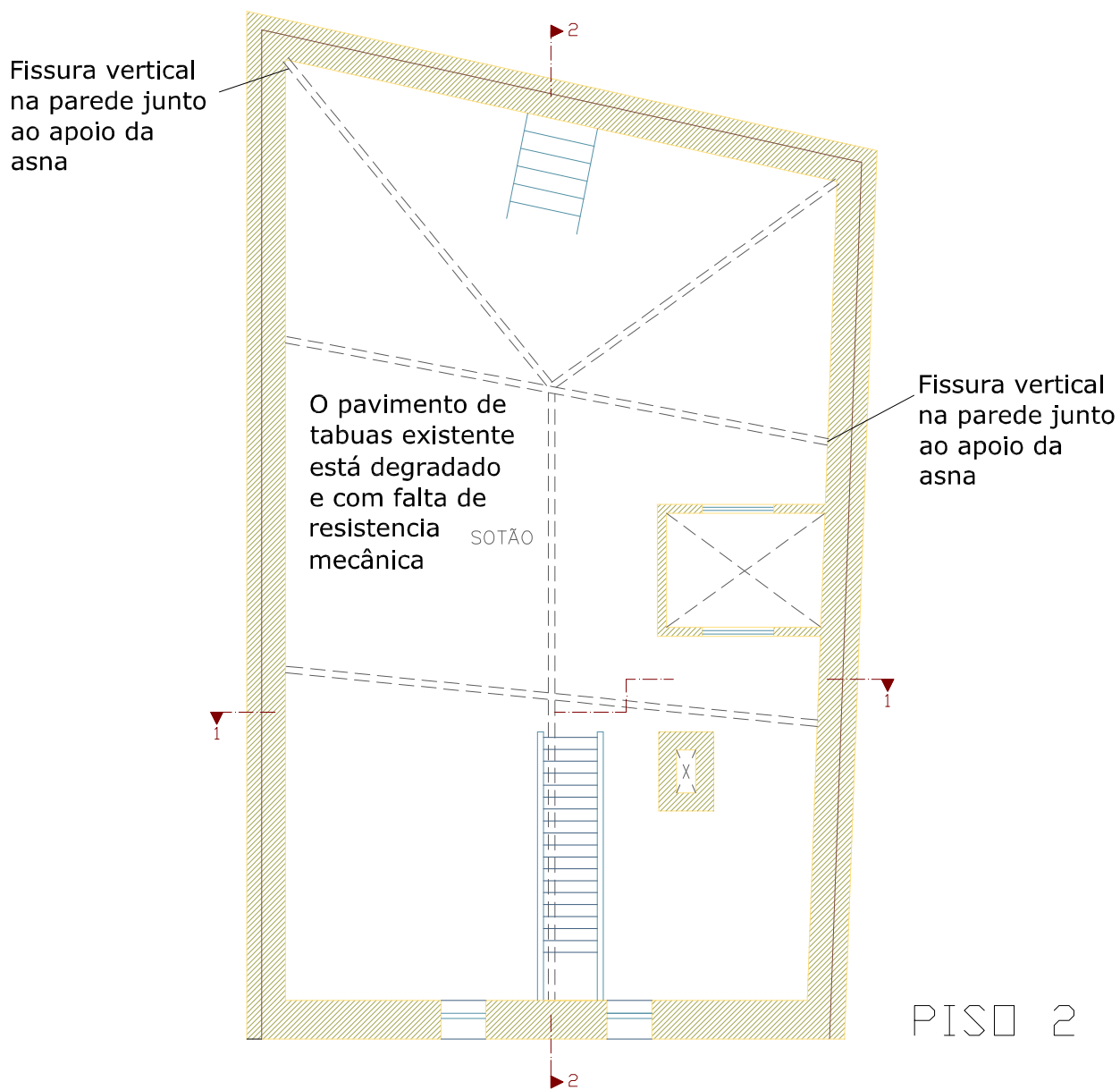


Figura 30- Localização em planta das patologias do sótão

4. Cobertura

A cobertura encontra-se em bom estado de conservação, necessitando somente de substituição pontual de telhas degradadas e reparação do revestimento das



platibandas. A platibanda tem o reboco degradado devido à acção dos agentes atmosféricos, necessitando também de limpeza.



Figura 31- Bom estado de conservação das telhas



Figura 32- Zona de acesso à cobertura





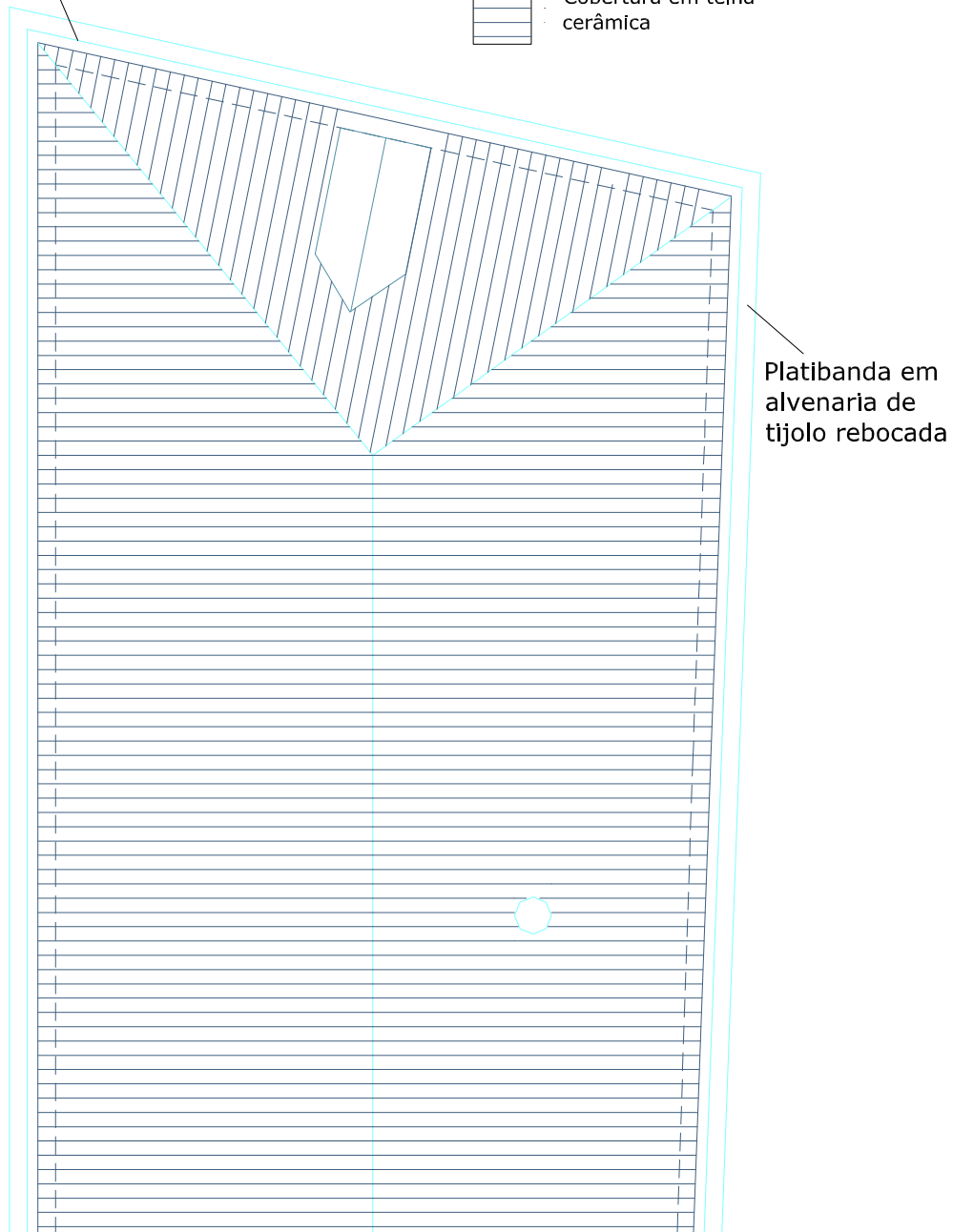
Figura 33- Platibanda necessitando de limpeza superficial e conservação pontual



Cantaria partida

Materiais:

-  - Cobertura em telha
-  - cerâmica



Platibanda em alvenaria de tijolo rebocada

COBERTURA

Figura 34- Localização em planta das patologias na cobertura



3. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

Em termos genéricos, a elaboração do projecto de reabilitação consiste na concepção, verificação e pormenorização e um conjunto de alterações a introduzir no edifício, que permita corrigir as insuficiências que ele apresenta, face aos requisitos de referência.

O projectista é chamado a lançar mão de um conjunto de técnicas, que funcionam como os remédios que vão eliminar as doenças ou corrigir as deficiências apresentadas pelo edifício conservando ao mesmo tempo a integridade, a autenticidade e os valores que tornam único esse edifício.

Nas actividades de reparação recorre-se, sempre que possível, a materiais compatíveis com os originais. Nas actividades de reforço estrutural são utilizadas técnicas de intervenção reduzidamente intrusivas, recorrendo-se se necessário, a materiais avançados. (Cóias, 2007)

Considera-se que a proposta de intervenção a adoptar no edifício em questão deverá ser efectuada nas seguintes áreas:

1. Intervenção estrutural:

- a. Remoção do pavimento de madeira existente no 2º piso e colocação de um pavimento em estrutura metálica.
- b. Aplicação de um lintel na base de apoio da estrutura da cobertura de madeira para eliminação dos impulsos horizontais aplicados nas paredes do edifício;
- c. Remoção da caixa de escada de alvenaria de acesso ao sótão e substituição por uma caixa em estrutura metálica.
- d. Remoção da escada de madeira existente de acesso ao sótão e colocação de uma escada metálica.
- e. Reparação e tapamento de fissuras em paredes e tectos.
- f. Recolocação de carregamento adequado no extradorso das abóbadas do piso térreo, de modo a evitar fissuras, e consolidação das mesmas.

2. Intervenção não estrutural:

a. Interior:

- i. Reparação de rebocos de cal em paredes e abobadas.
- ii. Reparação de caixilhos de madeira das janelas e portas.
- iii. Reparação de portas e janelas de madeira.



iv. Eliminação de paredes interiores do 1º piso.

b. Exterior:

- i. Reparação de reboco em argamassa de cal nas fachadas do prédio;
- ii. Reparação de rebocos de platibandas.
- iii. Limpeza de cantarias dos vãos das portas e janelas.
- iv. Remoção de ferrugem dos elementos metálicos dos vãos das fachadas.
- v. Reparação pontual da cobertura.

Não se considerou intervenção nas fundações, por estas se apresentarem em boas condições e não necessitarem que obras de melhoramento.

Classificação da reabilitação:

A reabilitação poderá ser classificada nos seguintes quatro tipos, de acordo com os respectivos custos/m de pavimento ou, de outra forma, com as correspondentes percentagens de custo das obras de reabilitação em relação ao custo total do edifício equivalente construído de novo:

- reabilitação ligeira - se a percentagem do custo das obras é inferior
- reabilitação média - se a percentagem do custo das obras estiver situada entre 25% e 50%;
- reabilitação profunda - se a percentagem do custo das obras estiver situada entre 50% e 80%;
- reabilitação excepcional - se a percentagem do custo das obras for superior a 80%.

Refira-se que, no entendimento corrente, o termo reabilitação é usado sobretudo para intervenções correspondentes ao que aqui se definiu como reabilitação média, profunda ou excepcional. A reabilitação ligeira aqui considerada corresponderá apenas, na maioria das situações, a intervenções definidas atrás como reabilitações em sentido restrito.

Anote-se ainda que, no que se refere à reabilitação excepcional, esta poderá acontecer por diversas formas - ou por se referir a um número moderado de trabalhos mas de custos elevados devido a dificuldades das obras, ou a um numeroso conjunto de trabalhos de custos médios, ou, finalmente, a um muito



elevado conjunto de trabalhos que correspondem praticamente a uma construção nova (é o caso corrente em que do edifício anterior apenas restam as paredes resistentes exterior).

Neste caso poder-se-á considerar uma reabilitação estrutural média do edifício.

3.1 Intervenção estrutural

3.1.1 Cobertura

Na cobertura existente propõe-se a colocação de um lintel. Evitando-se, desta forma, as forças horizontais provenientes da estrutura da cobertura a exercer sobre as paredes exteriores do edifício.

Considerou-se as seguintes hipóteses:

1. Lintel em betão armado:

Devido à presença de sais na composição do betão, não será a solução mais adequada devido a possível infiltração de sais nas paredes de alvenaria de pedra, cristalizando-se em eflorescências e salitre, originando degradação da parede. O betão, devido ao seu elevado peso, irá sobrecarregar o topo das paredes do prédio, e também criará uma massa permanente desfavorável ao comportamento sísmico do edifício.

2. Lintel em madeira:

Considera-se uma boa solução, por ser leve e, por isso não implicar a aplicação de elevadas cargas permanentes no topo das paredes. A madeira deverá ser tratada contra o ataque de insectos xilófagos e fungos e protegida de variações de humidade e temperatura para não diminuir a sua resistência mecânica.

3. Lintel metálico:

Considera-se uma boa solução, por ser uma estrutura leve que não sobrecarrega os topos das paredes do prédio. Deverá ter-se em atenção o seu bom isolamento em relação à parede de alvenaria para que não haja degradação do aço devido ao



contacto com a água presente na alvenaria, podendo originar a sua corrosão. Nesse sentido o aço deverá ser tratado contra a corrosão.

Propõe a escolha de um lintel constituído por uma cantoneira metálica de LPN 200x200x20 mm, em toda a volta do prédio e isolada em relação à corrosão.

3.1.2 Pavimento no sótão

Face à degradação do pavimento existente, optou-se por remove-lo integralmente. Apresentando-se as seguintes hipóteses de reabilitação:

1. Pavimento em laje maciça de betão armado:

Os sais presentes no cimento do betão armado podem migrar para a alvenaria de pedra argamassada em cal, e por isso criarem salitre e degradação das paredes.

A laje em betão armado faz com que haja um elevado peso na parte superior do edifício, sobrecarregando as paredes existentes, podendo criar esmagamento por compressão. Também não é favorável em termos de comportamento sísmico, podendo criar tensões de tracção nas paredes de alvenaria de pedra, a qual tem fraca resistência.

Necessita de escoramento para apoio da cofragem, o que poderá sobrecarregar as abóbadas existentes se nestas forem apoiadas.

2. Pavimento em laje aligeirada em vigotas de betão e abobadilhas cerâmica.

A argumentação é similar ao do pavimento em laje maciça de betão armado.

3. Pavimento com vigamento de madeira e revestimento de madeira.

Trata-se de uma solução leve, e de boa integração da alvenaria existente. Contudo, pode ser degradar facilmente se não for bem protegido. Não introduz cargas permanentes em demasia na estrutura do edifício, sendo favorável no comportamento sísmico.



4. Pavimento com vigaamento em perfis metálicos em aço e revestimento metálico.

Trata-se de uma solução que, se tiver os apoios bem protegidos da corrosão, pode-se considerar uma boa solução, de fácil e rápida implementação. Não introduz cargas permanentes em demasia na estrutura do edifício, sendo favorável no comportamento sísmico.

5. Pavimento com vigamentos em perfis metálicos aligeirados em aço do tipo light steel frame.

A argumentação é similar ao do pavimento do número 4.

Optou-se pela hipótese n.º 4.

As vigas metálicas principais serão constituídas por perfis metálicos aligeirados HEB 240, e as vigas secundárias por perfis aligeirados IPE 120.

Neste tipo de edificação, é fundamental que a intervenção a efectuar seja a mais leve possível, para não adicionar peso à estrutura existente, e para tal deverá recorrer-se o menos possível ao betão, sendo um exemplo citado no texto abaixo:

No interior de uma intervenção de um edifício, o aço é melhor que o betão, dado que não necessita de tempos de espera ente a colocação e a entrada em serviço, ocupa menos espaço, é mais leve e, portanto requer fundações menos onerosas, economiza a cofragem e permite um notável encurtamento de tempo de execução, o que compensa o maior custo unitário do material. (Cóias, 2007)

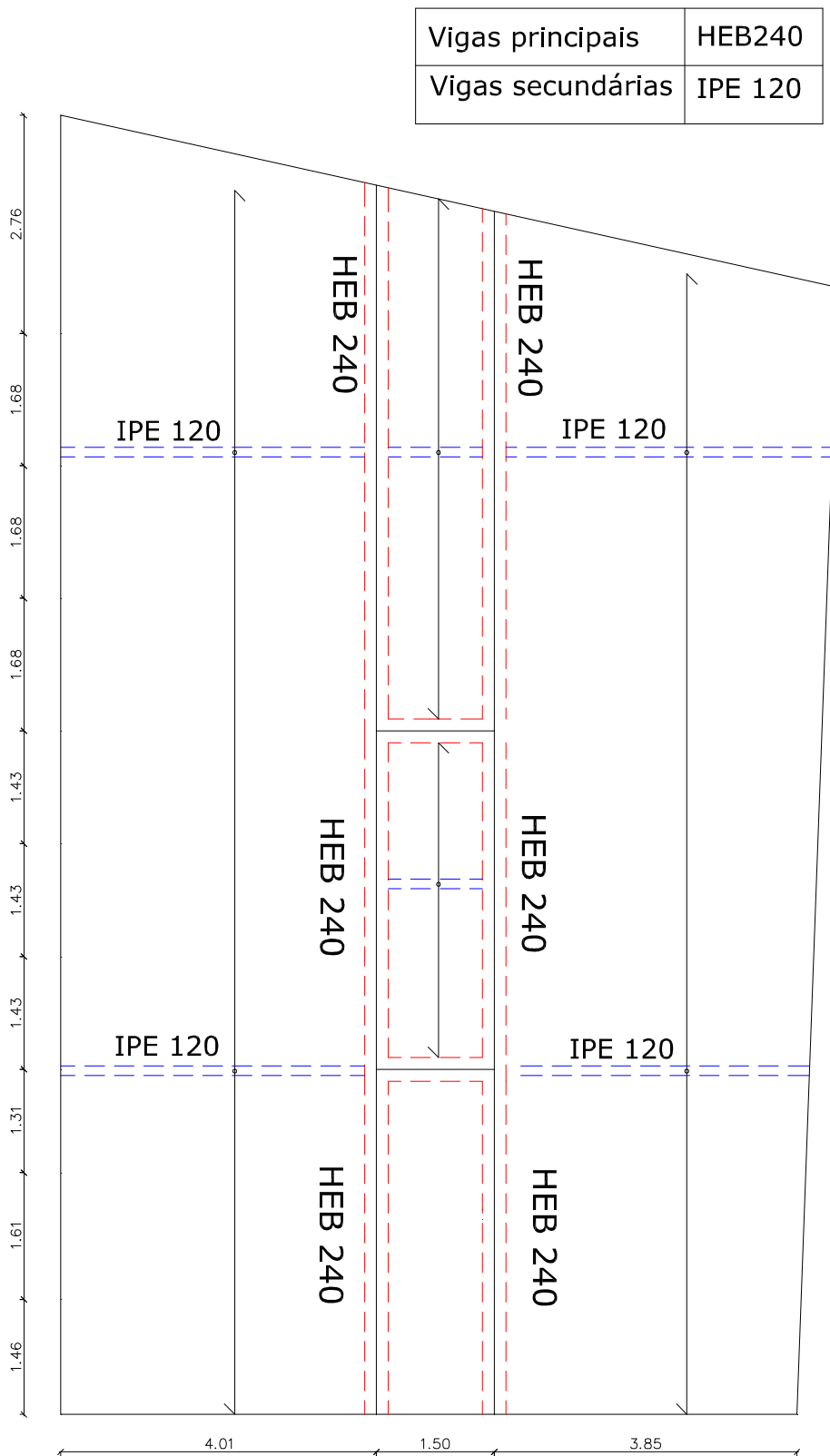


Figura 35- Localização em planta dos perfis metálicos a aplicar no pavimento do sótão



As vigas também serão apoiadas na caixa de escada, para evitar a utilização de vãos maiores e consequente utilização de perfis com maior alma. O apoio das vigas nas paredes será simples, considerando que as paredes têm resistência suficiente para aguentar as cargas aplicadas.

3.1.3 Caixa de escada metálica entre 1º piso e o sótão

A caixa de escada existente não oferece resistência a forças horizontais tais como sismos, devido à eliminação das paredes de alvenaria. Por isso optou-se pela sua demolição e sua substituição. Considerou-se as seguintes hipóteses:

1. Estrutura de betão armado em panos maciços:

Devido ao elevado peso da estrutura de betão armado, a caixa de escada provocaria um elevado peso no 1º piso. Tal situação seria desfavorável em termos de esforços na estrutura do edifício, no caso de haver forças horizontais induzidas pela acção sísmica. As abóbadas subjacentes seriam gravemente afectadas, originando grandes fissurações e pondo em causa a sua estabilidade.

Se a estrutura de betão não for bem isolada em relação à alvenaria subjacente, esta poderá ser contaminada pelos sais contidos no cimento. Poderá ocorrer uma migração desses sais para a superfície dos rebocos das alvenarias, e deteriorá-las.

2. Estrutura de betão armado em vigas e pilares:

Apesar da estrutura de betão com vigas ser mais leve do que com a de panos de betão, ainda assim esta estrutura tem um elevado peso, o que compromete a estabilidade do edifício, principalmente das paredes subjacentes. A estrutura da caixa de escada de escada é considerada como uma carga permanente e tem a sua massa, podendo ter deslocamentos horizontais devido a forças de natureza sísmica. Deverá considerar-se também a possibilidade de contaminação da estrutura de alvenaria subjacente através de migração de sais e deterioração de reboco.

3. Estrutura em viga e pilares de madeira:



É uma solução leve e económica, e que não afecta a estrutura de alvenaria existente. Deverá ter-se em atenção um bom isolamento da estrutura em relação a humidade, para que esta não a afecte desfavoravelmente.

4. Estrutura metálica:

Pode-se considerar as mesmas conclusões que a estrutura de madeira.

Propõe-se aplicar uma caixa de escada em estrutura metálica com dois perfis justapostos em UPN120, de modo a que seja a base de suporte ao pavimento metálico a implementar no sótão.

3.1.4 Escada de acesso ao sótão

Propõe-se remover a escada de madeira existente, por esta se encontrar em mau estado de conservação e utilização. A escada a colocar será constituída por uma estrutura metálica com degraus metálicos.

Considerou-se uma sobrecarga de 3 kN/m² nos degraus da escada.

3.1.5 Reparações de fissuras em paredes e tectos

Poderá colocar-se reboco armado para estabilização de fissuras dos rebocos das paredes e tectos no interior do edifício.

A utilização dos rebocos armados com malhas metálicas (protegidas contra a oxidação), fibras de vidro, etc , permite confinar / cintar a alvenaria em toda a espessura da parede, garantindo dessa forma a melhoria das suas funções estruturais existentes.

Quando tal se justifique, pode ainda reforçar-se esta solução com a utilização de ancoragens ou conectores transversais, que fixam melhor as camadas de reboco armado ao suporte, garantindo assim um melhor confinamento da alvenaria. O procedimento consiste em:

- saneamento e limpeza da alvenaria;
- substituição do material degradado;
- injeção das fendas (complementada ou não com gateamento por grampos de aço);



- colocação da armadura metálica (aço galvanizado ou aço inoxidável) ou armadura de fibra de vidro (protecção anti-alkalina) com ou sem conectores de travamento;
- aplicação do reboco com argamassa de formulação adequada.

Os materiais escolhidos para a reparação devem respeitar as seguintes condicionantes:

- compatibilidade mecânica com o suporte;
- durabilidade face aos sais presentes no suporte;
- permeabilidade ao vapor de água.

3.1.6 Recolocação de carregamento adequado no extradorso das abóbadas do piso térreo, de modo a evitar fissuras, e consolidação das mesmas.

De modo a estabilizar as fissuras observadas no intradorso das abóbadas do piso térreo, propõe-se colocar o carregamento adequado de estabilização, de modo a evitar tensões de tracção no intradorso. Poder-se-á utilizar grãos de argila expandida, por ser leve e ter boa resistência para suportar o pavimento do 1º piso.

Deverão ser também injectadas fissuras de modo a serem colmatadas e evitar descontinuidades de transmissão de cargas.

Pode-se aplicar malhas de fibra no intradorso das abóbadas nas zonas que apresentam maior fragilidade e destacamento, e consolidar com argamassa adequada.

3.2 Intervenção não-estrutural

3.2.1 Eliminação de paredes interiores do piso térreo

Para um maior aproveitamento de espaço do piso térreo, propõe-se a remoção de algumas das paredes interiores existentes nas quais não tenham função estrutural determinante e aplicação de paredes divisórias duplas, em placas de gesso cartonado hidrofugado.

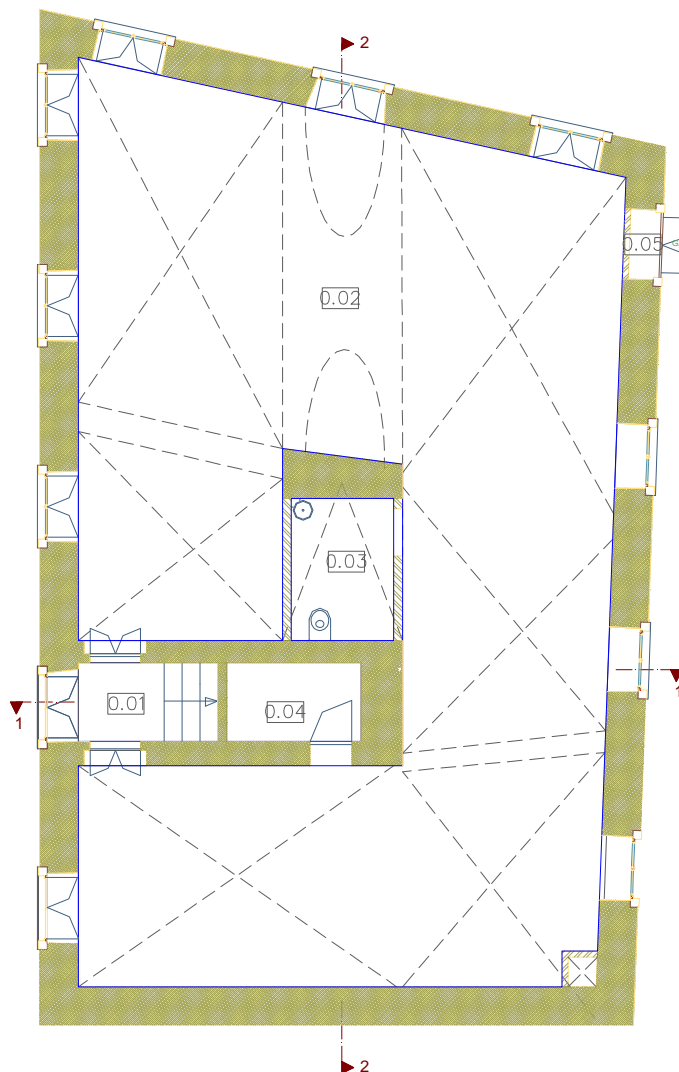


Figura 36- piso térreo – proposta

3.2.2 Eliminação de paredes interiores do 1º piso

Para um maior aproveitamento de espaço do 1º piso, optou-se por remover as paredes interiores existentes, nomeadamente as que não são portantes. As paredes são constituídas por tabiques de madeira.

3.2.3 Aplicação de paredes divisórias no rés-do-chão, no 1º piso e sótão

Propõe-se a utilização de paredes divisórias compostas por placas de gesso cartonado hidrofugado, devido ao fato de serem uma estrutura leve e por conseqüente diminui a carga aplicada nas paredes existentes, que é transmitida pelo pavimento.

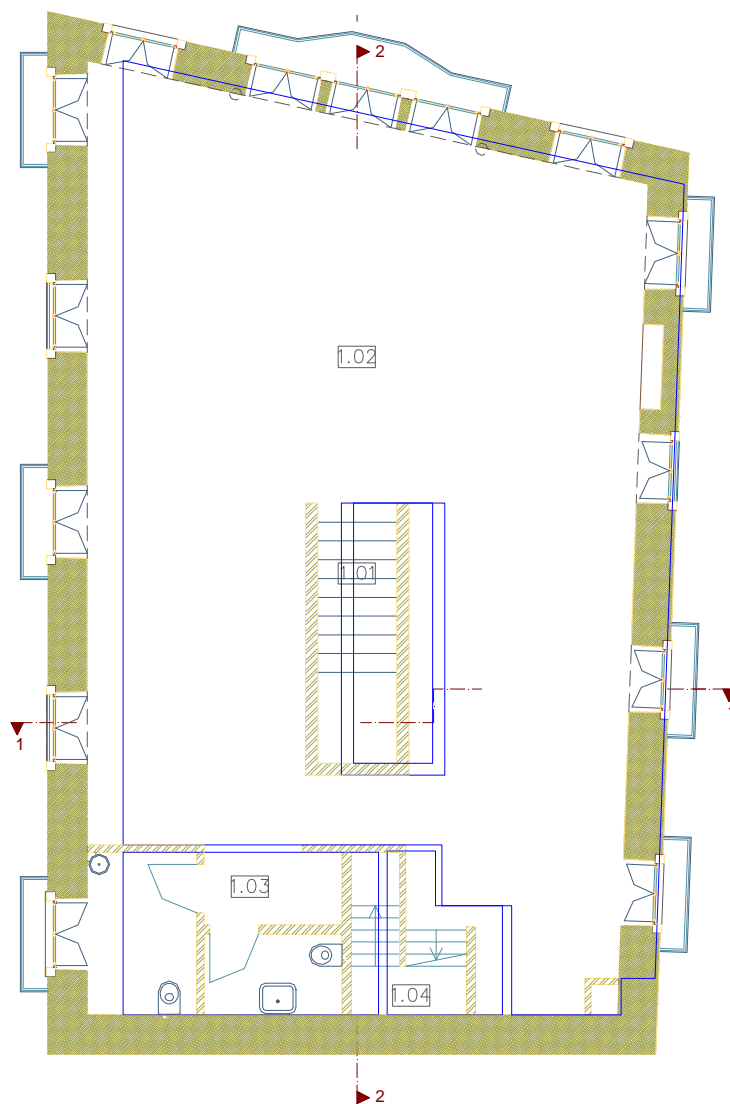


Figura 37- Proposta do 1º piso

3.2.4 Picagem e aplicação de reboco nas paredes interiores e abobadas.

As paredes interiores estão com o reboco degradado, pelo que se propõe fazer a picagem de toda a sua superfície. Tendo em conta a constituição das paredes existentes, constituída em alvenaria de pedra argamassada, sugere-se a utilização de argamassas à base de cal com características químicas e mecânicas compatíveis com as da pedra seja ela decorativa ou construtiva. A utilização de argamassas à base de cal pretende evitar o aparecimento de fissurações e destacamentos decorrentes da utilização de argamassas com excessiva rigidez como acontece quando é adicionado cimento (Pinho, Baião, & Lúcio, 2003). *A argamassa de cal concilia duas grandes vantagens: a flexibilidade (que lhe permite*



ser compatível com todo o tipo de alvenarias) e a extrema dureza, o que lhe garante a sua solidez durante séculos (Belém & Cunha, 1998). Deverá utilizar-se pinturas compatíveis com os rebocos, tal como pintura à base de cal, que é a mais utilizada.

A tinta à base de cal tem as seguintes características (Belém & Cunha, 1998):

- 1. Deixa respirar as paredes, porque não provoca a obstrução dos poros da argamassa, impedindo a condensação de humidade no interior das casas e da própria alvenaria.*
- 2. É uma tinta que por conter cal permite desinfetar o ambiente onde é aplicada (salubridade).*
- 3. Tem uma expressão plástica que não se consegue alcançar com as tintas industriais.*

Da mesma forma se propõe fazer a intervenção nos revestimentos das abóbadas.

3.2.5 Renovação do pavimento existente no piso térreo e 1º piso

Propõe-se a substituição do pavimento existente, que se apresenta bastante degradado, por revestimento com base em betonilha e aplicação de pavimento flutuante em pranchas de madeira. Para diminuir o peso que se encontra no extradorso das abóbadas, propõe-se a remoção do seu carregamento, a substituição por argila expandida e aplicação de malhasol para redistribuição das tensões provenientes de cargas aplicadas no pavimento.

3.2.6 Recuperação das cantarias dos vãos exteriores

Propõe-se a limpeza das cantarias dos vãos de portas e janelas com produtos apropriados e restauros pontuais onde for necessário.

MÉTODOS DE TRATAMENTO (Tavares, 2013)

As principais operações de tratamento inerentes à conservação da cantaria são limpeza, reconstituição, consolidação e protecção. Nem sempre é necessário executar todas as etapas. O estado de conservação da cantaria definirá quais os tratamentos necessários, devendo-se levantar e diagnosticar as patologias.



A escolha de materiais e métodos a serem usados deverá ser baseada em testes apropriados. No caso do uso de produtos químicos, deve-se estar consciente de todas as características físico-químicas do produto e seus efeitos na cantaria.

Os profissionais envolvidos no trabalho devem ter comprovadamente capacitação técnica tanto para a execução dos serviços de conservação como para a perfeita utilização dos produtos e equipamentos necessários às intervenções determinadas.

Os métodos a serem utilizados devem ser controlados de modo a possibilitar sua paralisação caso se faça necessário. A eficiência do método deve ser constantemente avaliada através de testes prévios, que determinarão os produtos e métodos a serem usados; é necessária, portanto, a prévia aprovação da equipe de fiscalização.

As operações de limpeza somente deverão ser efectuadas em superfícies compactas, onde inexistem processos de deterioração que danificaram ou destruíram a coesão das partículas formadoras do material de pedra.

LIMPEZA DE CANTARIAS

O objectivo da limpeza de cantarias em um monumento histórico é remover todas as substâncias que efectivamente causam o processo de deterioração da pedra ou contribuem para isso - sais solúveis, incrustações insolúveis, más intervenções feitas anteriormente, infestação de vegetação, dejectos de animais -, respeitando-se a textura e a cor originais.

Os problemas técnicos dos processos de limpeza de cantarias devem ser considerados, pois requerem acções químicas e mecânicas que podem pôr em risco a superfície da cantaria.

A escolha do método a ser usado dependerá da natureza das substâncias a serem removidas e do tipo de superfície a ser limpa.

MÉTODOS DE LIMPEZA DE CANTARIAS

LIMPEZA COM ÁGUA

Água vaporizada – Consiste na aplicação de uma névoa fina de água (vaporização) em temperatura ambiente, em toda a superfície da cantaria. O jacto não deve ser



direccionado directamente para a superfície, e a distância efectiva entre o vaporizador e a superfície deve ser ajustada cuidadosamente de forma a não acarretar efeitos mecânicos.

Obs: Também poderá ser utilizado equipamento de vapor de água a temperatura controlada. Aplicado sobre a pedra, poderá remover toda a sujidade superficial, evitando a absorção demasiada de água pela pedra.

Aplicação de jacto de água a baixa pressão - Trata-se da aplicação de jacto de água, com a utilização de equipamento de jacto de água que permita o controle da pressão (máx 2,5 – 3 atm.). Como no caso anterior, o jacto não deve ser direccionado directamente para a cantaria, de modo a não causar efeitos mecânicos na superfície da pedra (remoções de rejuntos e desgastes localizados).

Obs: Os métodos de limpeza anteriormente descritos podem eventualmente ser complementados com escovas de nylon, porém o uso é inadequado em superfícies de pedra muito porosa.

LIMPEZA QUÍMICA

Pastas aquosas – O método tem dupla vantagem: prolonga o tempo de contacto entre a superfície a ser limpa, enquanto diminui a penetração das soluções na superfície da pedra. Os produtos utilizados como pastas são argilas absorventes (sepiolita ou betonita), polpa de papel, polpa de algodão, sílica gel, etc., que servem de suporte para a aplicação de soluções químicas previamente testadas. Carbonatos e bicarbonatos de amónia diluídos em água podem ser usados como soluções a serem testadas, se os métodos de jacto e pulverização de água já descritos não conseguirem remover todos os depósitos de sujeira da superfície. Resistindo ainda a sujidade, pode-se reforçar a solução com o sal EDTA dissolvido na solução em menores proporções.

O tempo de aplicação desses produtos deve também ser determinado pela análise “in situ” ou em laboratório.

Testes prévios de aplicação devem ser realizados, anotando-se a solução a ser aplicada bem como o tempo de aplicação. Efectuados os testes, verifica-se o efeito alcançado e determina-se o método a ser utilizado em toda a área a ser limpa.



LIMPEZA MECÂNICA

É o uso de métodos abrasivos. Devem ser aplicados em superfícies que ainda se mantêm coesas, ou seja, não há desagregação superficial da cantaria. As áreas onde deverão ser aplicados esses métodos devem ser limitadas apenas aos locais em que os anteriores não deram resultado. Os equipamentos muito abrasivos estão descartados, pois seu emprego não permite o controle efectivo do nível de limpeza desejado, desgastando áreas de cantaria de forma mais agressiva e profunda, envolvendo grandes perdas de pedra.

Micro-jactos de areia - Consiste na remoção das camadas de sujidade através de equipamento apropriado, que provoca jactos de micropartículas (microesferas de vidro, pó de mármore, gesso, pó de quartzo, etc.) a pressão e quantidade controladas e é aplicado nas superfícies de pedra. Pode remover sujidades mais resistentes como tintas, crosta negra e manchas. Exige importação do equipamento, mas a sua alta eficiência poderá diminuir os custos de aplicação.

Microabrasador (brocas dentárias) – método de limpeza abrasiva limitado, para uso somente em pequenas áreas. Sua utilização em áreas maiores é inviabilizada pelo tempo gasto na remoção, tornando-o impraticável.

Limpeza com bisturi - Método que exige muita habilidade e paciência do operador, pois, à semelhança do anteriormente descrito, seu uso em cantaria é limitado devido à demora e às dimensões das áreas a serem limpas.

Limpeza a Laser – método que exige equipamentos de limpeza próprios. Através de uma pistola a laser, que emite jactos de raios laser directamente sobre a cantaria, remove-se principalmente aquela sujidade que não foi tirada pelos métodos anteriores. Um grande impedimento para seu uso é tanto o alto custo do equipamento como o da sua importação.

OBS: A limpeza de grandes áreas de superfície de cantaria poderá ser feita pelo método das “tentativas progressivas”, que consiste em aplicar os métodos de limpeza já descritos, aumentando os diversos graus de aplicação até se obter o nível de limpeza desejado. Esse método é limitado pelas características físico-químicas e ambientais do meio onde está inserida a superfície de pedra a ser limpa, bem como pelas condições de sujidade e de degradação da cantaria.



RECONSTITUIÇÃO DE CANTARIAS

COM PRÓTESES

Consiste na reconstituição das perdas ocorridas na cantaria, através da aplicação de próteses de pedra com as mesmas características físicas da original. A escolha das próteses de pedra a serem aplicadas requer um apurado dom artístico, pois somente técnicos-escultores são capazes de confeccionar determinados tipos de prótese, principalmente aquelas que exigem complementação de ornatos, cimalthas, cartelas de pedra. Na escolha da pedra a ser aplicada como complemento da lacuna, é preciso considerar também a cor e a textura, que deverão ser o mais semelhantes possível da cantaria a ser reconstituída.

A aplicação de próteses de menores dimensões pode ser feita apenas com o auxílio de colas ou resinas. Os pequenos pedaços regulares da pedra escolhida são cortados e colados nos locais determinados, para possibilitar o perfeito encaixe da nova prótese.

As colas e resinas que se podem aplicar devem ter os seguintes requisitos: boa adesão, durabilidade, baixa retracção, elasticidade e rigidez. Epoxi, resinas poliéster, poliuretano e acrílica são colas que têm melhores propriedades adesivas e mecânicas. As juntas também devem ser reconstituídas, pois as emendas dessas pequenas próteses não poderão se tornar aparentes, sob pena de prejudicar a leitura da cantaria. São disfarçadas através de resinas devidamente aplicadas para se ter uma perfeita integração com o material original.

Quando se empregam próteses de maiores dimensões, necessária se faz a aplicação de reforços com pinos metálicos (aço inox ou latão). A prótese a ser aplicada deverá ser perfurada de forma que os pinos metálicos, cravados na cantaria, se adaptem aos furos a serem executados. Colas epóxicas são as mais indicadas para garantir a estabilidade dessas peças de pedra, mas pode-se também, em determinados casos, utilizar as resinas poliéster.

COM ARGAMASSAS

As argamassas para reconstituição das cantarias são actualmente usadas no preenchimento de fissuras. São usualmente confeccionadas com cal hidráulica como aglomerante. O ligante a ser escolhido dependerá das características



granulométricas do material a ser reconstituído. A aplicação de fungicidas e filtros de UV deverá ser apropriadamente utilizada. A adição de pigmentos inorgânicos e quimicamente estáveis, tais como terra ou óxidos metálicos, é permitida. O uso das argamassas com o tradicional cimento deve ser evitado, pois ele pode ocasionar a formação de sais solúveis, danosos à pedra.

COM POLÍMEROS

A reconstituição da cantaria através de polímeros deverá ser efectuada superficialmente através da utilização de pastas feitas “in situ”, tomando-se como base as características da pedra a ser recomposta. Deve-se ter o cuidado de não deixar a superfície da cantaria com aparência artificial, e especial atenção deverá ser tomada para que as intervenções se limitem apenas às áreas de lacuna que realmente comprometam a leitura da superfície lapidada. As resinas poliéster, epóxicas e acrílicas são as mais utilizadas actualmente. Os ligantes das pastas serão definidos conforme as características da pedra a ser reconstituída, de modo a possibilitar a perfeita integração da cor e da textura originais.

Nos trabalhos com altos índices de exposição à luz, deverá ser prevista a adição de produtos filtrantes de raios UV. Cada tipo de resina tem o apropriado filtro UV e deve aditivar as pastas na proporção entre 1% a 2%. Devem-se efectuar testes prévios para determinar o percentual adequado dos produtos filtrantes, pois tem-se verificado que a alta concentração deles modifica a cor da pasta, dificultando a integração cromática.

Na utilização de pastas como colas e adesivos, deve-se ter o mesmo cuidado que com as pastas de reconstrução.

Os ligantes utilizados são talco, dióxido de zinco, pó de mármore, microesferas de vidro ou outros materiais inertes. Devem-se misturar às pastas pigmentos naturais a fim de se obter a tonalidade desejada para uma boa reintegração.

CONSOLIDAÇÃO DE CANTARIAS

Entende-se por tratamento de consolidação a impregnação de produtos que penetram na pedra, melhorando e aumentando a coesão do material alterado em seu substrato, resultando na melhor resistência aos processos de deterioração.



A consolidação da pedra pode ser executada com produtos inorgânicos e orgânicos (polímeros). Cada uma das categorias tem suas vantagens e desvantagens: os inorgânicos são menos elásticos e mais duráveis; os orgânicos são, em geral, mais elásticos e têm melhor propriedade de adesão.

Os produtos consolidantes devem ter algumas propriedades fundamentais:

- não devem formar subprodutos deteriorantes;
- devem ser absorvidos uniformemente pela pedra;
- terão a profundidade de penetração controlada, dependendo das características da pedra e do grau de fluidez do consolidante;
- devem ter o coeficiente de dilatação térmica próximo do da pedra a ser consolidada;
- se são produtos repelentes à água, não devem tornar a pedra totalmente impermeável;
- devem manter a aparência externa da pedra.

A impregnação dos consolidantes é feita por diversos métodos, desde a aplicação com pincéis e escovas até a pulverização. As peças de menor porte podem ser impregnadas a vácuo, dentro de autoclaves específicas. Testes laboratoriais devem ser previamente feitos para escolher o melhor método de impregnação e determinar a sua profundidade. Existem vários consolidantes, cada um deles indicado para ser usado em determinado tipo de pedra. Por exemplo: consolidantes	TIPO DE ROCHA
Silicato de Etilo	Usado em consolidação de arenitos, cerâmicas.
Alquil-alcoxisilano	Usado em consolidação de arenitos, cerâmicas.
Mistura de silicato de etilo + Alquil-alcoxisilano	Usada em consolidação de arenitos, cerâmicas.



Alquil-aril-polisiloxano	Usado em alvenarias, arenitos, mármore, calcários.
Resina acrílica	Usada em consolidação de mármore e calcários compactos.
Mistura de resina acrílica e silicone	Usada em mármore, calcários e arenitos.

Também como consolidante inorgânico há o hidróxido de bário ou hidróxido de cálcio, que pode ser usado em pedras calcárias se as descontinuidades dos vazios não superarem 50 – 100mm.

PROTEÇÃO DE CANTARIAS

A protecção de cantarias pode ser feita através do uso de produtos químicos ou de uma efectiva acção externa para eliminar as fontes de degradação da pedra.

Protecção superficial

A protecção superficial de cantarias é um procedimento recomendado sempre que o factor de alteração da pedra agir principalmente na superfície externa do material: poluição, condensação de humidade química e mecânica, acção da chuva. A protecção superficial não é aconselhável no caso de penetração da água na pedra por capilaridade.

As principais propriedades dos produtos a serem utilizados como protectores são:

- inércia dos produtos utilizados;
- não formação de subprodutos que degradem a pedra;
- boa estabilidade química;
- boa estabilidade contra os raios UV;
- boa permeabilidade de vapores de água;
- mínima influência nas propriedades ópticas e cromáticas da superfície da pedra.

São produtos recomendados como protectores:

AGENTES PROTETORES	TIPO DE ROCHA
Resinas acrílicas	Mármore, materiais de baixa porosidade.



Misturas de resinas acrílicas e silicones	Todos os materiais.
Alquil-aril-polisiloxano	Todos os materiais.

Para estabelecer uma protecção contra as modificações cromáticas, deve-se adicionar à solução a ser empregada produtos filtrantes de raios UV. Existem produtos de filtro UV específicos para cada uma das soluções empregadas. Especial cuidado deverá ser tomado na escolha desses produtos. A proporção do uso deles deve ser controlada, pois verifica-se que seu emprego indiscriminado reage negativamente, modificando as cores iniciais.

- Controle climático interno - consiste em controlar os agentes do ambiente interno onde está inserida a escultura de pedra, evitando, assim, problemas com condensação e poluentes do ar.

- Vala de ventilação – consiste em criar uma vala em torno da fundação, permitindo a evaporação da humidade antes da sua chegada às paredes do edifício. Esse procedimento diminuirá a quantidade de água absorvida pela parede, reduzindo, conseqüentemente, os danos ocasionados pela humidade.

- Vala de ventilação com enchimento – consiste em afastar o terreno das fundações, criando-se uma vala com enchimento de material drenante, de modo a afastar a humidade das paredes do edifício.

Protecção contra humidade

Como a água é o maior agente de destruição da pedra, deve-se pensar na eliminação das fontes de humidade que porventura poderão atacar as superfícies da pedra.

Existem vários métodos de combate à humidade em edifícios históricos, que poderão ajudar na protecção das cantarias:

- Barreira física – consiste em criar uma barreira física nas paredes de um edifício, de modo a eliminar a possibilidade de ascensão de humidade por capilaridade. É utilizado em casos graves de problemas de contaminação com sais solúveis por capilaridade. Consiste no corte da alvenaria e na aplicação de resinas poliéster, formando barreiras físicas ao longo da alvenaria. Para isso, deve-se cortar a



alvenaria através de equipamento específico, de modo a garantir a estabilidade e possibilitar a aplicação de produto impermeável que formará a barreira física.

3.2.7 Recuperação das carpintarias dos vãos exteriores no rés-do-chão e das janelas dos pisos superiores

Propõe-se a recuperação das carpintarias dos vãos exteriores do piso térreo e do 1º piso.

Poder-se-á realizar a recuperação das madeiras dos vãos através de raspagem da tinta danificada com uma betumeira, lixada à mão ou mecanicamente, aplicação de um primário e, por fim, repintura. (Kay D. Weeks and David W. Look, 2002)

A remoção da tinta poderá ser realizada através dos seguintes métodos:

- Abrasivo: “Abrasão” da superfície pintada por meios manuais ou mecânicos, tais como a raspagem e a passagem à lixa. Geralmente usado na preparação da superfície e na remoção limitada da tinta.
- Térmico: Amolecimento e retirada das camadas de tinta pela aplicação de calor seguida de raspagem e passagem á lixa. Geralmente usado na remoção total da tinta.
- Químico: Amolecimento das camadas de tinta com decapantes químicos seguido de raspagem e passagem á lixa. Geralmente utilizado na remoção total da tinta.

3.2.8 Recuperação de rebocos exteriores dos pisos superiores

Os rebocos de cal da fachada do prédio a partir do 1º piso encontram-se com manchas de sujidade. Por isso, necessitam de uma limpeza superficial, e uma leve regularização com argamassa de cal pigmentada que seja compatível com o suporte existente.



3.2.9 Recuperação de gradeamentos nos vãos das janelas do 1º piso

Os elementos metálicos encontram-se fortemente oxidados, sendo que muitos dos danos estão encobertos por tinta e as zonas mais fragilizadas encobertas pela própria ferrugem.

Deverá efectuar-se uma limpeza com jacto de areia para remover a ferrugem, e aplicar primário e tinta adequada de protecção.

3.2.10 Reabilitação da cobertura

Para obedecer às exigências dos regulamentos actuais, propõe-se efectuar os seguintes trabalhos, de modo à que o sótão seja aproveitado de acordo com o projecto de arquitectura:

1. Remoção das telhas existentes, com aproveitamento das que estão em bom estado de conservação;
2. Remoção das madres existentes;
3. Remoção das asnas existentes;
4. Realização de roço na parede exterior para inserção de um lintel de apoio à estrutura de madeira da cobertura;
5. Colocação das asnas;
6. Colocação das madres com as dimensões adequadas;
7. Aplicação de isolamento térmico e acústico entre as madres e as telhas;
8. Aplicação das telhas na cobertura.

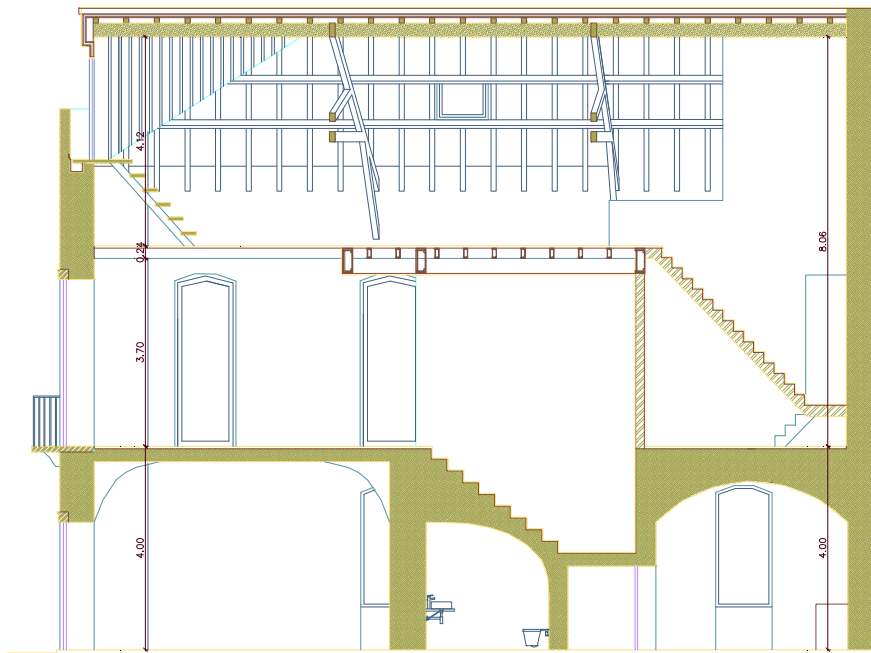


Figura 38- corte longitudinal do edifício – proposto

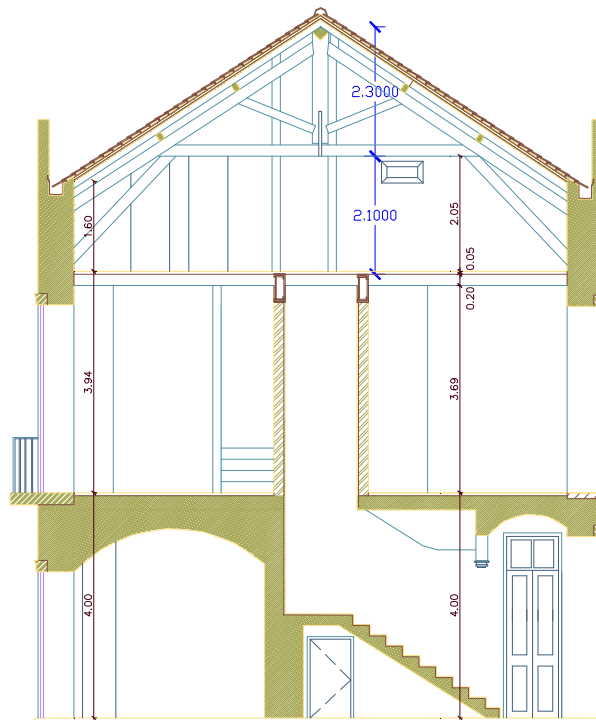


Figura 39- corte transversal do prédio – proposto



4. ANALISE ESTRUTURAL

Depois de recolhidas informações relativas às:

- *Características das acções mecânicas que se exercem sobre a estrutura, em particular da acção sísmica;*
- *Características geométricas do sistema estrutural e características de resistência e deformabilidade dos seus elementos e dos respectivos materiais;*
- *Propriedades dinâmicas da estrutura e a sua resposta às acções a que se encontra sujeita. (Cóias, 2007)*

É possível passar à construção de um ou mais modelos de análise do sistema estrutural.

Realizou-se uma modelação do comportamento estrutural do edifício existente, com vista à sua análise e verificação da sua estabilidade, de acordo com as solicitações existentes (Farinha, 2006).

Teve-se em consideração os seguintes eurocódigos:

- Eurocodigo 0 (EN 1990): Bases do projecto de estruturas;
- Eurocodigo 1 (EN 1991): Acções em estruturas;
- Eurocódigo 3 (EN 1993): Projecto de estruturas de aço;
- Eurocódigo 5 (EN 1995): Projecto de estruturas de madeira;
- Eurocódigo 6 (EN 1996): Projecto de estruturas de alvenaria;
- Eurocodigo 8 (EN 1998): Projecto de estruturas em regiões sísmicas.

4.1 Cargas aplicadas

4.1.1 Cobertura

4.1.1.1 Sobrecarga

Com base no Eurocodigo 1, foi considerado para a cobertura uma sobrecarga de 0,40 kN/m².



4.1.2 Vento

4.1.2.1 Vento na cobertura

No que diz respeito à acção do vento, considerou-se que o edifício localiza-se na zona B, com rugosidade I e uma cêrcea de cerca de 10 metros. Desta forma, o valor característico da pressão dinâmica (w_k) é de $0,84 \text{ kN/m}^2$.

Os coeficientes de pressão parcial exteriores para a cobertura de duas vertentes são calculados em seguida. As relações geométricas do edifício são as seguintes:

- $h=9,52$ metros;
- $b=10,20$ metros;
- $a=16,14$ metros;
- $h/b=0,93$;
- $a/b=1,58$.

Com base nas relações geométricas é possível determinar os valores característicos da pressão dinâmica, considerando $\beta=45^\circ$.

Direcção do vento	δ_{pe}	$w_k \times \delta_{pe}$	$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$
$\alpha=0^\circ$	0,2	$0,84 \times (0,2)$	0,17
	-0,5	$0,84 \times (-0,5)$	-0,42
$\alpha=90^\circ$	-0,8	$0,84 \times (-0,8)$	-0,57
	-0,8	$0,84 \times (-0,8)$	-0,57

Figura 40– Coeficientes de pressão parcial exterior (cobertura)

Considerou-se uma carga distribuída de vento de $0,57 \text{ kN/m}^2$ na cobertura do edifício, alternando consoante as combinações.

4.1.2.2 Vento nas paredes

Em relação ao vento aplicado nas paredes, considerou-se que o edifício localiza-se na zona B, com rugosidade I e uma cêrcea de cerca de 10 metros. Desta forma, o valor característico da pressão dinâmica (w_k) é de $0,84 \text{ kN/m}^2$.



Os coeficientes de pressão parcial exteriores para a cobertura de duas vertentes são calculados em seguida. As relações geométricas do edifício são as seguintes:

- $h=9,52$ metros;
- $b=10,20$ metros;
- $a=16,14$ metros;
- $h/b=0,93$;
- $a/b=1,58$.

Com base nas relações geométricas é possível determinar os valores característicos da pressão dinâmica, considerando $\beta=45^\circ$.

Direcção do vento	Superfície	δ_{pe}	$w_k \times \delta_{pe}$	w_k (kN/m ²)
$\alpha=0^\circ$	A	0,7	$0,84 \times (0,7)$	0,59
	B	-0,3	$0,84 \times (-0,3)$	-0,25
	C	-0,7	$0,84 \times (-0,7)$	-0,59
	D	-0,7	$0,84 \times (-0,7)$	-0,59
$\alpha=90^\circ$	A	-0,5	$0,84 \times (-0,5)$	-0,42
	B	-0,5	$0,84 \times (-0,5)$	-0,42
	C	0,7	$0,84 \times (0,7)$	0,59
	D	-0,1	$0,84 \times (-0,1)$	-0,08

Figura 41– Coeficientes de pressão parcial exterior (cobertura)

Considerou-se uma carga distribuída de vento de 0,59 kN/m² nas paredes do edifício, alternando consoante as combinações.

4.1.3 Estrutura da cobertura

Considerou que a estrutura de madeira era constituída por madeira de pinho bravo, com as seguintes propriedades:

- Resistência à flexão: $f_{m,k} = 18 \text{ N/mm}^2 = 18 \text{ MPa}$
- Resistência à tracção: $f_{t,0,k} = 11 \text{ N/mm}^2 = 11 \text{ MPa}$
- Resistência à compressão: $f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2 = 18 \text{ MPa}$



- Módulo de elasticidade: $E = 9 \text{ kN/mm}^2 = 9 \text{ GPa}$
- Densidade: $P_k = 320 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de distorção: $G = 0,56$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0,40$

Utilizou-se as secções de 0,40 m x 0,25 m para as asnas e de 0,20 m x 0,20 m para as madres.

As vigas das asnas onde se apoiam as madres têm um vão livre de 5,70 m.

As madres têm um vão livre de 5,26 m.

Considerou-se uma deformação máxima de 3,80 cm para as asnas e de 3,51 cm para as madres.

4.1.4 Pavimentos

Considerou-se uma massa volúmica de 17 kN/m³ nas paredes e abóbadas em alvenaria de pedra argamassada com cal.

Considerou-se uma sobrecarga de 4 kN/m² nos pavimentos dos pisos e uma carga permanente de 2 kN/m² para revestimentos em lajes.

4.1.5 Paredes de alvenaria

Considerou-se uma massa volúmica de 17 kN/m³ nas paredes de alvenaria de pedra argamassada e arbitrou-se uma espessura de 0,60 m. A resistência à compressão é de $f_{c,Rd} = 8 \text{ N/mm}^2$.

De acordo com o Eurocódigo 6:

Utiliza-se a seguinte expressão: $f_k = k \times f_b^b \times f_m^B = 0.50 \times 42.5^{0.7} \times 4.0^{0.3} = 3.25 \text{ N/mm}^2$

Em que:

- K é uma constante dependente do tipo de alvenaria e das dimensões da parede;
- f_b é a resistência à compressão normalizada do agregado em N/mm², neste caso os materiais pétreos;
- f_m é a resistência à compressão específica da argamassa em N/mm².

A altura efectiva é a seguinte: $h_{ef} = \rho_n \times h = 0.75 \times 4 = 3 \text{ m}$



A espessura efectiva é a seguinte: $t_{ef} = t = 60 \text{ cm}$

A esbelteza: $\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{3}{0.60} = 5 < 27$

Considera-se um modulo de elasticidade de: $E = 1000 \times f_k = 1000 \times 3.25 = 3250 \text{ N/m}^2$

$$\phi_m = 0.58$$

Classe de execução da alvenaria de pedra argamassada: 2. Logo $\gamma_m = 3.0$

A resistência à compressão da parede é dada pela seguinte expressão: $N_{Rd} = \phi_m \times$

$$t \times \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Logo: $N_{Rd} = 0,58 \times 600 \times \frac{3,25}{3,0} = 376.89 \text{ kN/m}$

4.1.6 Escada metálica de acesso ao sótão

Considerou-se uma sobrecarga de 3 kN/m^2 aplicada nos degraus da escada.

Propõe-se a utilização de uma viga de apoio aos degraus constituída por um perfil metálico HEB 120.

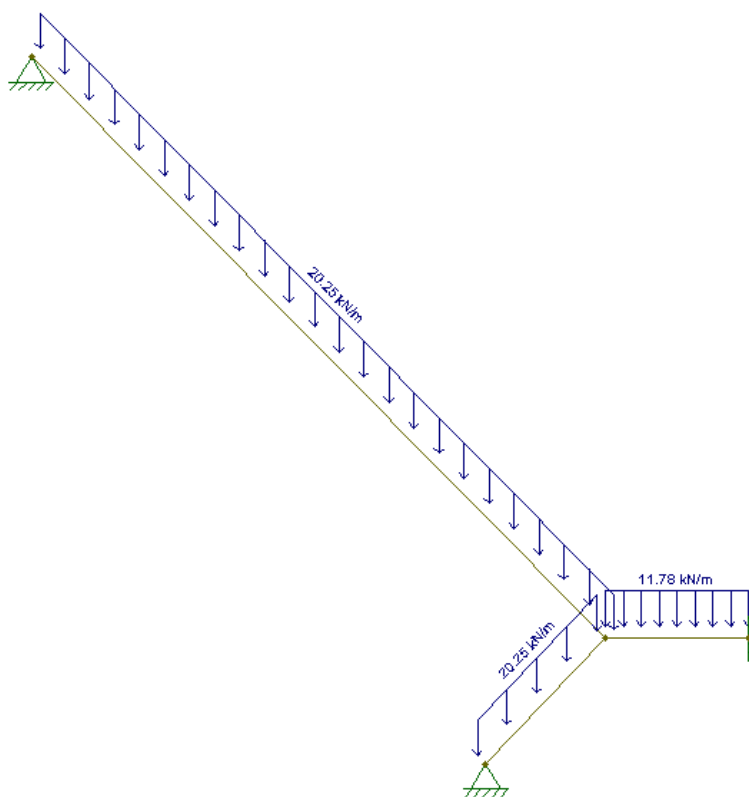


Figura 42- esquema estrutural da escada



4.1.7 Sismo

De acordo com o Eurocódigo 8, o edifício está sujeito a uma acção sísmica de tipo 1 e 2. A sua localização no mapa de Portugal indica que tem as seguintes acelerações sísmicas:

Zona 1.2	$a_{gR}(m/s^2) = 2.00$
Zona 2.3	$a_{gR}(m/s^2) = 1.70$

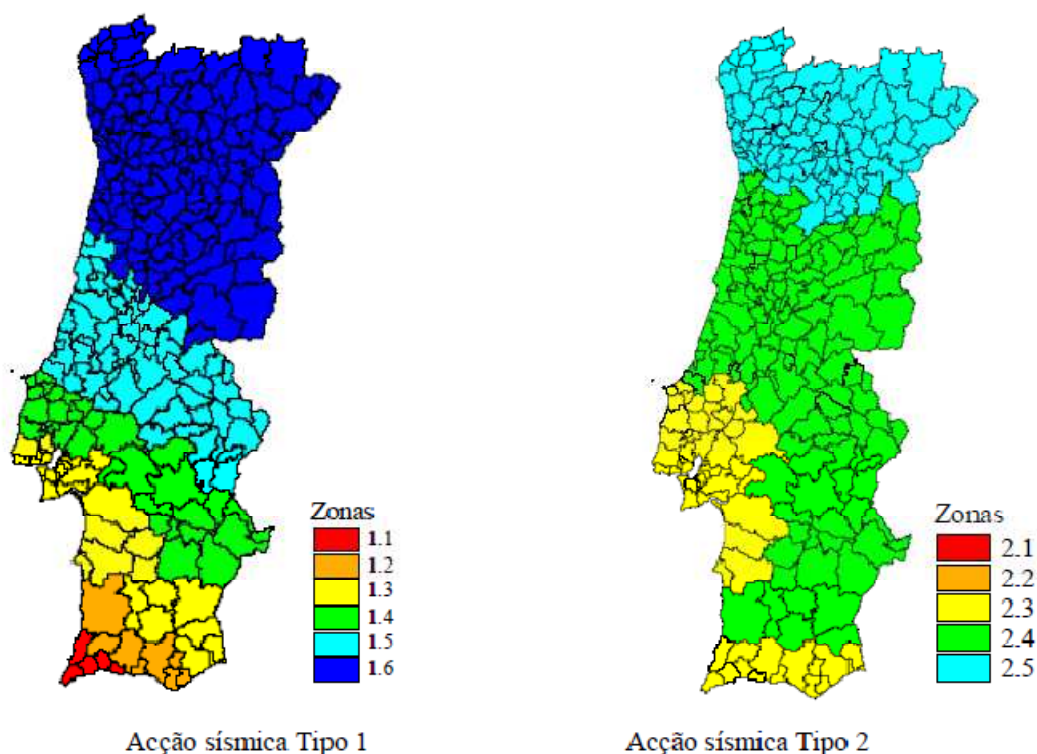


Figura 43- Figura NA.I - Zonamento Sísmico em Portugal Continental (fonte: Eurocodigo 8)

No programa estrutural SAP2000 aplicou-se as acções sísmicas com os respectivos espectros de resposta para as zonas sísmicas supracitadas, considerando três eixos ortogonais (x, y e z) (Carvalho, 2010).

4.2 Modelo estrutural

A estrutura foi modelada desde o piso térreo até à cobertura através de um programa de modelação estrutural. Para o propósito utilizou-se o SAP2000, que é



um programa de elementos finitos que executa a análise estática ou dinâmica, linear ou não linear dos sistemas estruturais. O interface gráfico do programa SAP2000 serve para modelar, analisar, dimensionar e mostrar a geometria da estrutura, as suas propriedades e visualizar os resultados da sua análise.

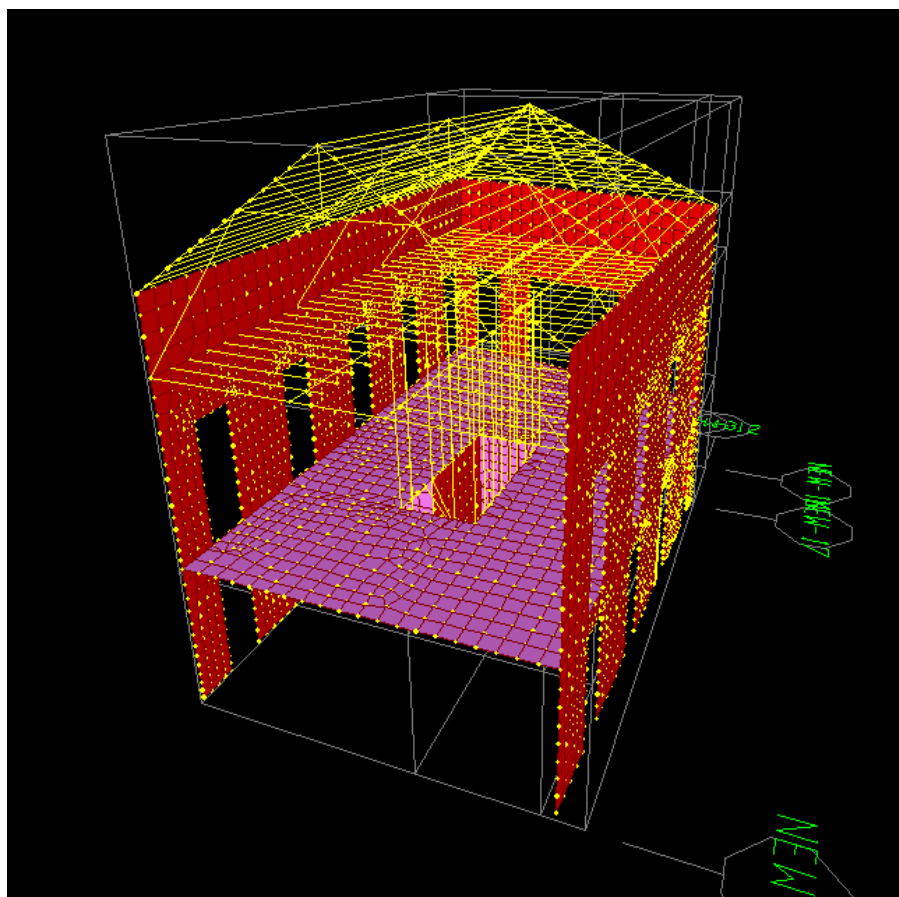


Figura 44- Modelo estrutural elaborado no programa de cálculo estrutural (SAP2000)

Considerou-se as seguintes simplificações:

4.2.1 Piso térreo e fundações

As abóbadas foram simuladas como elementos finitos bidimensionais, tipo casca, de três e quatro nós, de espessura variável de modo a simular as suas curvaturas.

Para modelar as fundações, e por questão de simplicidade, foram considerados apoios encastrados.



4.2.2 Paredes exteriores do edifício e interiores do piso térreo

Para a modelação das paredes de alvenaria, adoptou-se elementos finitos bidimensionais, tipo casca, de três e quatro nós. As portas e as janelas das fachadas foram ajustadas de modo a manter as dimensões e localizações reais.

4.2.3 Pavimentos

Aplicou-se elementos barras lineares espaçados de 60 cm e apoiados nos vértices dos elementos finitos bidimensionais que constituem as paredes exteriores do edifício.

4.2.4 Caixa de escada do 1º piso

A caixa de escada foi modelada através de elementos barras, dispostos verticalmente com afastamento de 60 cm entre eles, afim que se encaixem adequadamente com o pavimento metálico superior.

4.2.5 Cobertura

Para modelação da cobertura de madeira, foi utilizado elementos barra simplesmente apoiado nas paredes exteriores do edifício.

4.3 Combinações de acções

Os coeficientes de redução pelo Eurocódigo 0 são os seguintes:

Sobrecarga:	$\psi_0 = 0.7$	$\psi_1 = 0.5$	$\psi_2 = 0.3$
Vento :	$\psi_0 = 0.6$	$\psi_1 = 0.2$	$\psi_2 = 0.0$
Sismo :	$\psi_0 = 0.0$	$\psi_1 = 0.0$	$\psi_2 = 0.0$

Com três acções variáveis (sobrecarga, vento e sismo) teremos três combinações fundamentais: Os esforços combinados serão então obtidos pela actuação conjunta das seguintes acções:

- Acção variável de base sobrecarga:



$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times (\text{Sobrecarga} + 0.6 \times \text{Vento})$$

- Acção variável de base vento:

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times (\text{Vento} + 0.7 \times \text{Sobrecarga})$$

- Acção variável de base sismo:

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo} + 0.4 \times \text{Sobrecarga}$$

Como se considerou a actuação do sismo nos três eixos ortogonais e vento em três direcções, teremos as seguintes combinações:

- Acção variável de base sobrecarga:

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sobrecarga} + 0.6 \times (\text{vento sul} + \text{vento cobertura})$$

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sobrecarga} + 0.6 \times (\text{vento oeste} + \text{vento cobertura})$$

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sobrecarga} + 0.6 \times (\text{vento norte} + \text{vento cobertura})$$

- Acção variável de base vento:

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times (\text{vento sul} + \text{vento cobertura}) + 1.05 \times \text{Sob}$$

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times (\text{vento oeste} + \text{vento cobertura}) + 1.05 \times \text{Sob}$$

$$1.35 \times \text{Peso Proprio} + 1.35 \times (\text{vento norte} + \text{vento cobertura}) + 1.05 \times \text{Sob}$$

- Acção variável de base sismo:

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 1X + 0.4 \times \text{Sob}$$

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 1Y + 0.4 \times \text{Sob}$$

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 1Z + 0.4 \times \text{Sob}$$

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 2X + 0.4 \times \text{Sob}$$

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 2Y + 0.4 \times \text{Sob}$$

$$\text{Peso Proprio} + 1.35 \times \text{Sismo } 2Z + 0.4 \times \text{Sob}$$

As acções variáveis foram consideradas de acordo com o Eurocódigo 0. Para simulação da acção sísmica, foi efectuada uma análise dinâmica tridimensional por espectro de resposta. O terreno foi considerado do tipo II.



5. DIMENSIONAMENTO

5.1 Elementos de madeira

5.1.1 Asnas

Para simplificação, considerou-se o dimensionamento dos elementos de madeira à flexão simplesmente apoiados nas paredes exteriores do edifício.

Foi necessário fazer a verificação aos estados limites de serviços e aos estados limites últimos (Correia, 2009).

Estados limites de serviço:

Os valores, de acordo com Eurocodigo 5, são os seguintes:

Tipo de viga	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Duplamente apoiados	l/300 a l/500	l/250 a l/350	l/150 a l/300

Os elementos da asna com maior dimensão têm 3,81 m de comprimento.

$$\text{Logo: } \frac{381}{150} = 2.54 \text{ cm}$$

As asnas são constituídas por elementos de madeira com dimensões de 40 cm x 25 cm.

Observou-se na estrutura das asnas que a maior deformação dos elementos das asnas é de 0,11 cm. Logo verifica os estado limite ultimo de serviço.

Estados limites últimos:

Observou-se um momento flector máximo de 41,85 kNm e um esforço transversal de 64,22 KN nos elementos constituintes das asnas. Verificou-se que as asnas com as dimensões de 40 cm x 25 cm serão suficientes para resistir aos esforços aplicados.

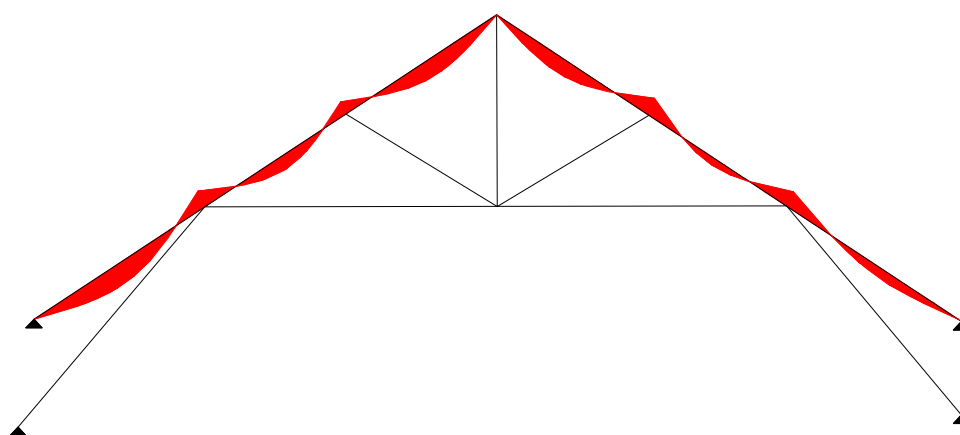


Figura 45 - Diagrama de momentos flectores na asna da cobertura

5.1.2 Madres

Estados limites de serviço:

Os valores, de acordo com Eurocódigo 5, são os seguintes:

Tipo de viga	Winst	Wnet,fin	Wfin
Duplamente apoiados	l/300 a l/500	l/250 a l/350	l/150 a l/300

Os elementos da asna com maior dimensão têm 3,81 m de comprimento.

$$\text{Logo: } \frac{525}{150} = 3.50 \text{ cm}$$

As madres são constituídas por elementos de madeira com dimensões de 20 cm x 20 cm.

Observou-se na estrutura das madres que a maior deformação dos elementos das madres é de 0,64 cm. Logo verifica os estados limite último de serviço.

Estados limites últimos:

Observou-se um momento flector máximo de 8,90 kNm e um esforço transversal de 8,10 kN nos elementos constituintes das asnas. Verificou-se que as asnas com as dimensões de 20 cm x 20 cm serão suficientes para resistir aos esforços aplicados.



Figura 46 - Diagrama dos momentos flectores de uma madre

5.2 Elementos de metálicos

5.2.1 Vigas principais

Estados limites de serviço:

Os valores, de acordo com Eurocódigo 3, são os seguintes:

Tipo de viga	Wfin
Duplamente apoiados e/ou encastrado	$l/250$

Os elementos da viga principal com maior dimensão têm 4,20 m de comprimento.

Logo: $\frac{420}{250} = 1,68$ cm

As vigas principais são constituídas por elementos metálicos HEB 240.

Observou-se que a maior deformação dos elementos metálicos é de 0,1 cm. Logo verifica os estados limite último de serviço.

Estados limites últimos:

Observou-se um momento flector máximo de 107,12 kNm e um esforço transversal de 87,99 KN nos elementos constituintes da viga principal. Verificou-se que as vigas principais de perfil HEB 240 serão suficientes para resistir aos esforços aplicados.

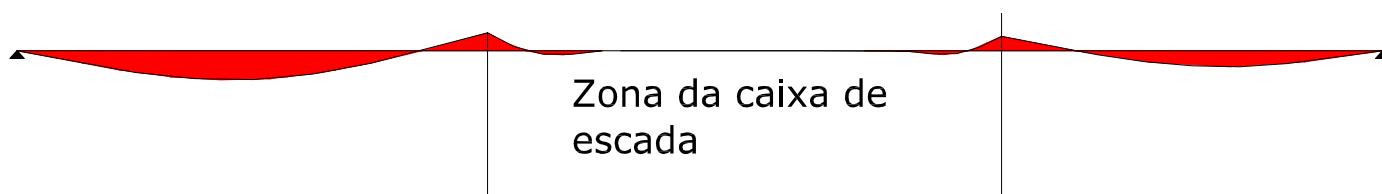


Figura 47- Diagrama dos momentos flectores da viga principal

5.2.2 Vigas secundárias

Estados limites de serviço:

Os valores, de acordo com Eurocódigo 3, são os seguintes:

Tipo de viga	Wfin
Duplamente apoiados e/ou encastrado	l/250

Os elementos da viga secundária com maior dimensão têm 3,76 m de comprimento.

Logo: $\frac{376}{250} = 1,50$ cm

As vigas secundárias são constituídas por elementos metálicos IPE120.

Observou-se que a maior deformação dos elementos metálicos é de 0,5 cm. Logo verifica os estados limites últimos de serviço.

Estados limites últimos:

Observou-se um momento flector máximo de 8,86 kNm e um esforço transversal de 11,92 KN nos elementos constituintes da viga secundária. Verificou-se que as vigas secundárias de perfil IPE120 serão suficientes para resistir aos esforços aplicados.

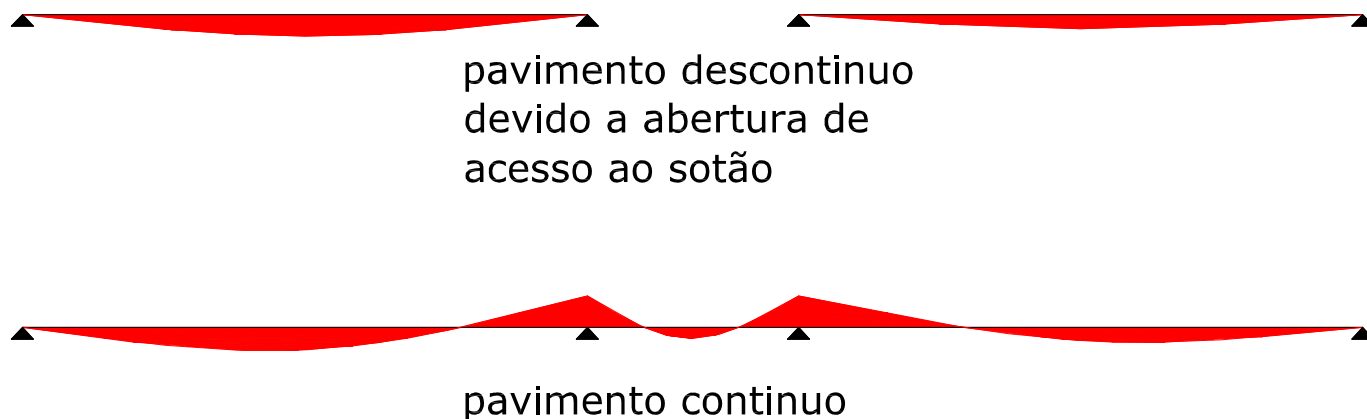


Figura 48 - Diagrama de momentos flectores de vigas secundárias

5.3 Elementos de alvenaria

As cargas aplicadas nas paredes foram essencialmente os elementos estruturais da cobertura, os revestimentos, a estrutura metálica do pavimento e as abóbadas em alvenaria de tijolo maciço.

Verificou-se o estado limite último à compressão para os elementos de alvenaria constituintes das paredes e abóbadas.

- A resistência característica é obtida através da seguinte fórmula:

$$f_k = k \times f_a^b \times f_m^B$$

Em que:

- $K = 0,5$
- $f_a = 8 \text{ MPa}$
- $b = 0,7$
- $f_m = 4 \text{ MPa}$
- $B = 0,3$

Logo: $f_K = 3,24 \text{ MPa}$

A resistência à compressão é obtida através da seguinte fórmula:

$$f_{rd} = \frac{f_k}{\gamma_m}$$



Em que :

- A espessura efectiva (t_{ef}) da parede: 60 cm,
- $\varnothing m = 0,58$
- Classe de controlo de execução: 2, logo $\gamma_m=3$
- $f_k = 10,46 MPa$

Logo:

$$f_{rd} = \frac{0,58 \times 60 \times 10 \times 3,24}{3} = 375,84 \text{ kN/m}$$

- O deslocamento máximo por piso devido ao sismo no Eurocódigo 8 é o seguinte:

$$\delta_r \times v = 0,0075 \times h$$

Sendo:

δ_r – valor de cálculo do deslocamento entre pisos

h – altura entre pisos

v – coeficiente de redução que tem em conta o mais baixo período de retorno da acção sísmica associada ao requisito de limitação de danos. $v = 0,5$ para edifícios de classe de importância I e II.

Por consequente:

- Piso térreo: $\delta_r = \frac{0,0075 \times 3,95}{0,5} = 0,0595 \text{ m}$
- 1º piso: $\delta_r = \frac{0,0075 \times 2 \times 3,95}{0,5} = 0,1185 \text{ m}$



5.3.1 Parede Sul

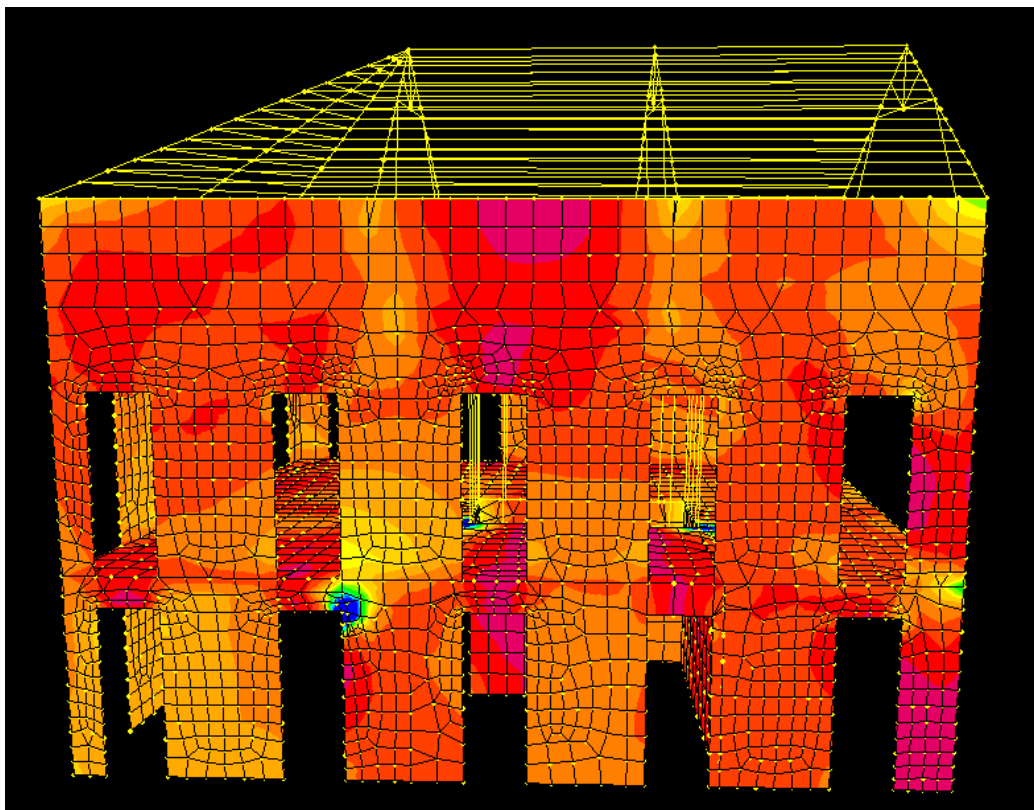


Figura 49 - Campo de tensões na parede sul

A maior tensão de compressão observada é de 145 kN/m^2 na parede sul. Sendo que a espessura média é de 60 cm , a tensão é de $145 * 0.6 = 87 \text{ kN/m}$, e a resistência à compressão da alvenaria é de $375,84 \text{ kN/m}$, logo verifica a resistência à compressão.

No sismo, verificou-se que o deslocamento máximo nas paredes é de $\delta=0,0021 \text{ m}$, o que é inferior a $\delta_{\text{max}}=0,0595 \text{ m}$, definido pelo Eurocódigo 8.

5.3.2 Parede Oeste

A maior tensão de compressão observada é de 110 kN/m^2 na parede oeste. Sendo que a espessura média é de 60 cm , a tensão é de $110 * 0.6 = 66 \text{ kN/m}$, e a resistência à compressão da alvenaria é de $375,84 \text{ kN/m}$, logo verifica a resistência à compressão.

No sismo, verificou-se que o deslocamento máximo nas paredes é de $\delta=0,005 \text{ m}$, o que é inferior a $\delta_{\text{max}}=0,0595 \text{ m}$, definido pelo Eurocódigo 8.

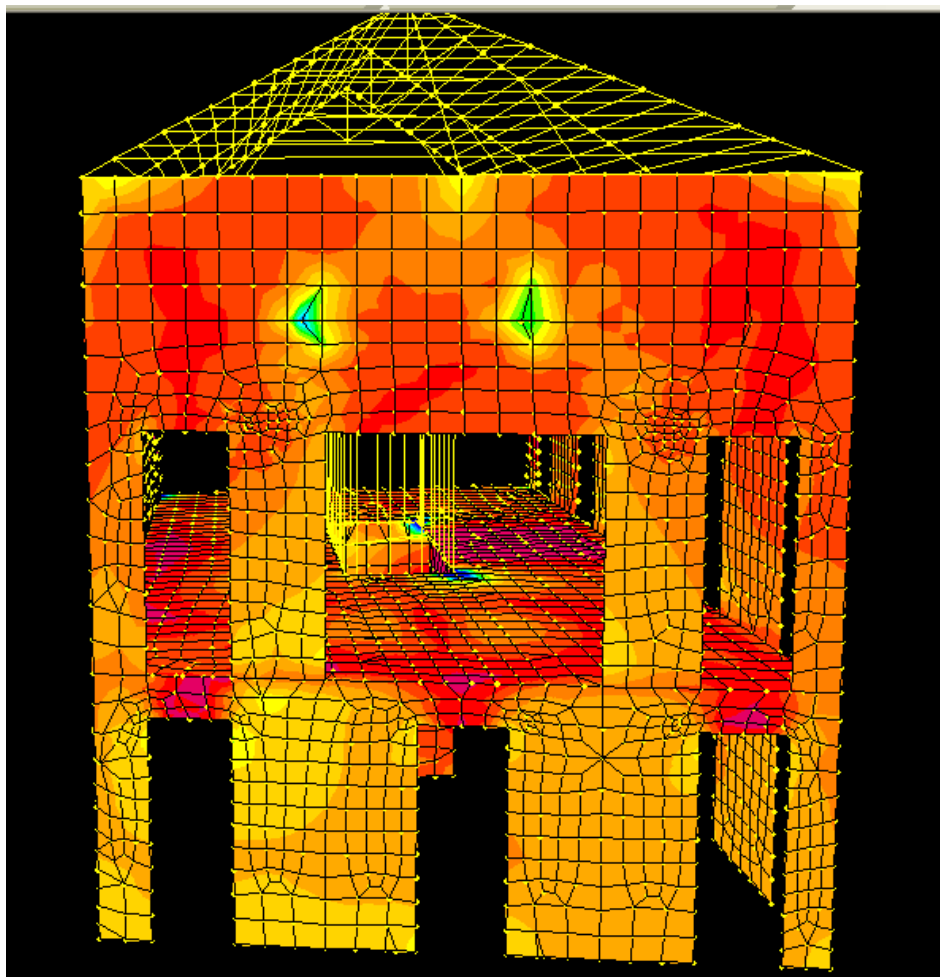


Figura 50 - Campo de tensões na parede oeste

5.3.3 Parede Norte

A maior tensão de compressão observada é de 133 kN/m² na parede oeste. Sendo que a espessura média é de 60 cm, a tensão é de $133 * 0.6 = 79,8$ kN/m, e a resistência à compressão da alvenaria é de 375,84 kN/m, logo verifica a resistência à compressão.

No sismo, verificou-se que o deslocamento máximo nas paredes é de $\delta=0,0019$ m, o que é inferior a $\delta_{max}=0,0595$ m, definido pelo Eurocódigo 8.

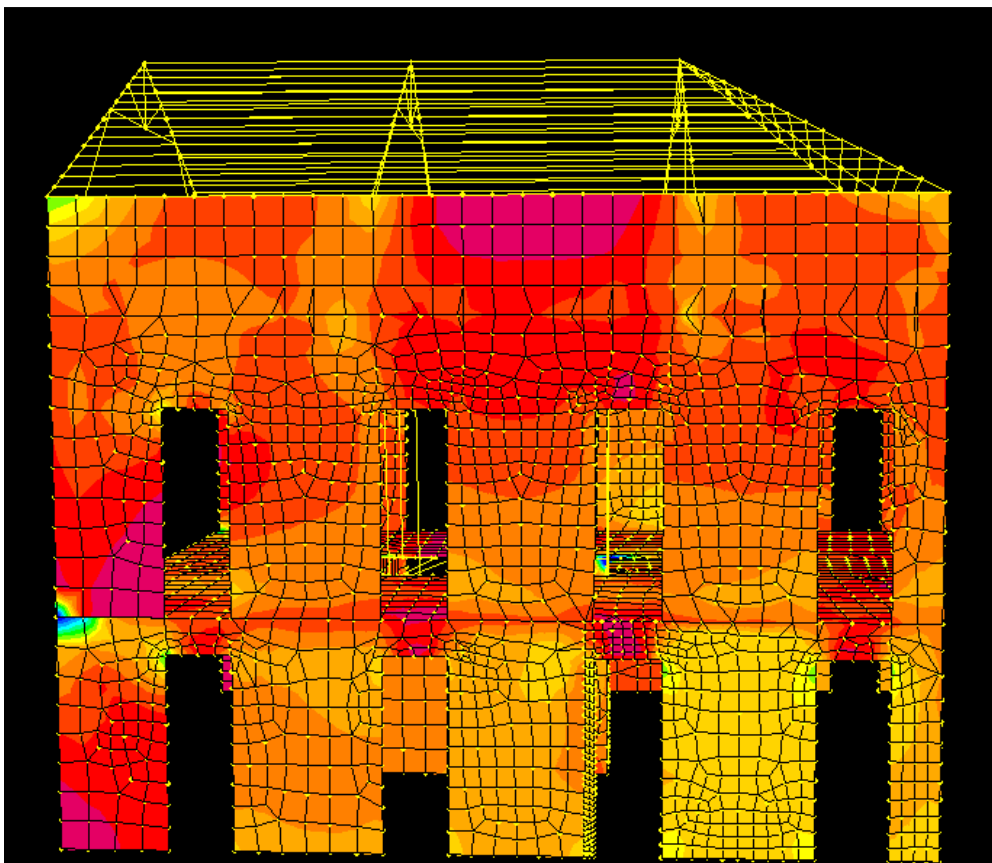


Figura 51- Campo de tensões na parede norte

5.3.4 Abóbadas do rés-do-chão

As forças aplicadas nas abóbadas são principalmente constituídas por revestimentos e sobrecargas.

Nesta imagem se observa em planta as tensões de esforços de compressão a que as abóbadas estão sujeitas, sendo os elementos mais claros os que têm valor maior de tensões.

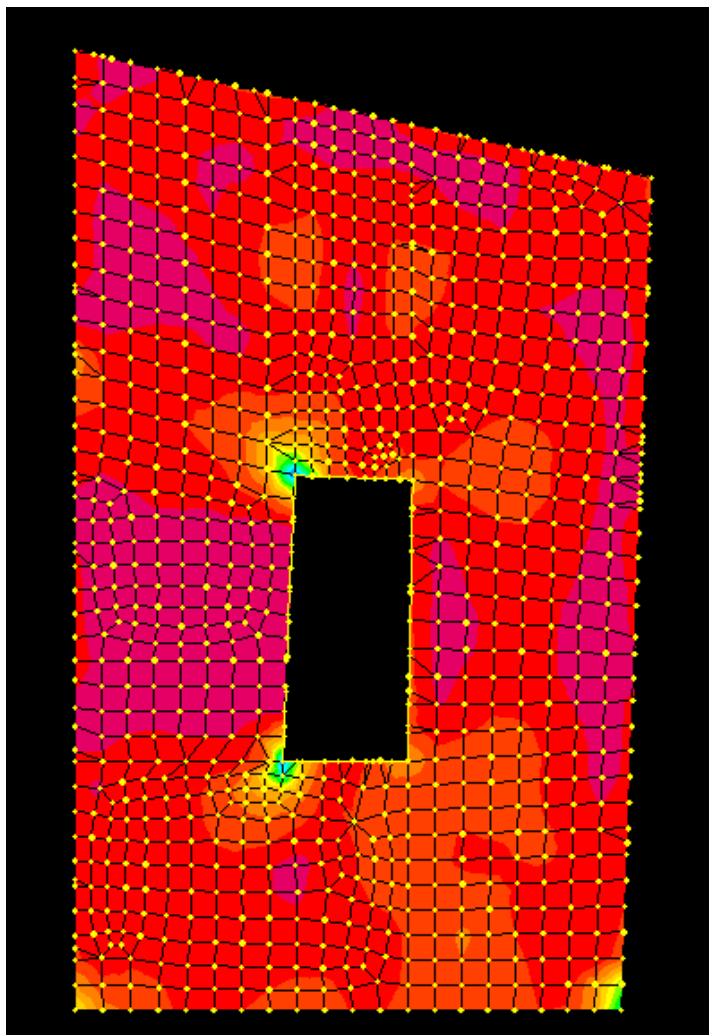


Figura 52- Campo de tensões nas abóbadas do rés-do-chão

A maior tensão de compressão observada é de 527 kN/m² nas abóbadas. Sendo que a espessura média é de 60 cm, a tensão é de $527 * 0.6 = 316,2$ kN/m, e a resistência à compressão da alvenaria é de 375,84 kN/m, logo verifica a resistência à compressão.

Os cálculos mais detalhados sobre cada elemento estrutural encontram em anexo deste documento.



6. CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho, conclui-se que o edifício em questão, apresenta bom estado de conservação e bom desempenho estrutural, necessitado somente de algumas intervenções pontuais de natureza estrutural e não-estrutural, tendo como objectivos:

- Segurança estrutural;
- Condições adequadas de habitabilidade e conforto;
- Conservação do valor patrimonial e histórico do edifício.

Após a fase de recuperação do edifício, deverá ser implementado um plano de manutenção que conste os seguintes itens:

- Limpeza
- Reparações onde necessários
- Análise de patologias e correcção das causas.

Não obstante e, considerando tratar-se dum trabalho académico, carecerá dum maior aprofundamento para que o mesmo possa ser aplicado na recuperação do imóvel.



Bibliografia

Anuário do Património n.º 1. (2012). *Boas Práticas de Conservação e Restauro*. Lisboa: Canto Redondo - Edições e Produção Lda.

Appleton, J. (2003). *Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção*. Amadora: Orion.

Belém, G. d., & Cunha, M. d. (1998). *Diálogos de edificação - estudo de técnicas tradicionais de construção*. Porto: CRAT Centro Regional de Artes Tradicionais.

Carvalho, E. C. (Maio de 2010). *LNEC*. Obtido de Eurocódigo 8 - Acção sísmica e edifícios: http://www.lnec.pt/qpe/eurocodigos/seminario_lisboa/EC8_Parte1_LNEC2010_CC.pdf

Cóias, V. (2007). *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*. Lisboa: Argumentum.

Correia, E. A. (Fevereiro de 2009). *Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil - especialização em estruturas*. Obtido de Análise e dimensionamento de estruturas de madeira: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59338/1/000136915.pdf>

Farinha, J. S. (2006). *RSA Anotado - Regulamento de Segurança e Acções para Edifícios e Pontes*. Amadora: Edições Gustave Eiffel.

Futueng. (s.d.). *Placas OSB*. Obtido em 25 de Setembro de 2013, de Futureng: <http://www.futureng.pt/osb>

GECORPA. (Dezembro de 2012). *Pedra & Cal n.º 53*. GECORPA.

José António Santos, M. C. (2011). Bem utilizar madeiras portuguesas na construção / reabilitação. *1º Congresso Ibero-Latinoamericano da madeira na construção*. Coimbra.

Kay D. Weeks and David W. Look, A. (2002). Obtido em Dezembro de 2013, de Problemas das pinturas sobre madeiras históricas exteriores: <http://www.cr.nps.gov/hps/tps/briefs/brief10.htm>

Lança, P. (s.d.). Apontamentos da cadeira de "Materiais de Construção". *Introdução às madeiras*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Beja.

Lourenço, P., & Fernandes, F. (2002). *Diagnóstico e Inspeção das Torres da Sé do Porto*. Guimarães: Universidade do Minho.



LOURENÇO, P., LOURENÇO, J. B., & OLIVEIRA, D. (2004). Inspeção e reabilitação do seminário conciliar de Braga. *Encontro Nacional Betão Estrutural*.

Mesquita, C. (Dezembro 2012). Levantamento estrutural e de anomalias - Uma ferramenta para avaliar a segurança das construções. *Pedra e Cal n.º 53*, 32-33.

Pinho, F. F., Baião, M. F., & Lúcio, V. J. (2003). Técnicas de consolidação de paredes de edifícios. *3º Encore* (pp. 465-473). Lisboa: LNEC.

Proença, J. M. (2007). *Instituto Superior Técnico - SMEE - DEC Civil - Dinâmica Estrutural e Engenharia Sísmica - MEC - 2007/2008*. Obtido de EN 1998 - Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas sismo-resistentes: https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/148479/1/Acetatos_EC8_1e2.pdf

Rodrigues, R. M. (2004). Dissertação apresentada à Universidade do Minho, para obtenção do grau de Mestre em. *CONSTRUÇÕES ANTIGAS DE MADEIRA: EXPERIÊNCIA DE*.

Sousa, H. d. (s.d.). Obtido de Estabilidade de paredes de alvenaria de acordo com o Eurocódigo 6: <http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/TPPC/IntroducaoEC6.pdf>

Tabelas Diversas. Lisboa: Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico.

Tavares, L. (Dezembro de 2013). *Lopes Tavares - Arquitectos Associados*. Obtido em 24 de Dezembro de 2013, de Lopes Tavares - Arquitectos Associados: <http://www.lopesvaladares.com.br/documentos/manual-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-preventiva-para-edifica%C3%A7%C3%B5es-iphan-monumental/>





Anexos

Dimensionamento à compressão de abóbadas

Nsd = 316,2 kN/m
fc,rd = 8 N/mm2 = MPa resistencia à compressão normalizada da alvenaria

k = 0,5
fb = 8
b = 0,7
fm = 4
b = 0,3
fk = 3,2490096 N/mm2 = MPa

$$f_k = k \times f_a^b \times f_m^B$$

altura efectiva

h = 4 m
pn = 0,75
hef = 3 m

$$h_{ef} = \rho_n \times h$$

espessura efectiva

tef = 60 cm
esbeleza = 5 Efeito de creep ignorado

Modulo de elasticidade

E = 1000*fk 3249,0096 N/mm2 = MPa

øm = 0,58

classe de controlo de execução: 2 logo γm = 3

Resistência por comprimento:

fd = 1,0830032

$$N_{Rd} = \phi_m \times t_{ef} \times f_d$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Nrd = 376,88511 kN/m

OK

Dimensionamento à flexão das asnas de madeira

Med = 41,85 kNm
Fsyd = 9800 kPa = kN/m²
Wpl,y = 4270,408 cm³

b = 40 cm
h = 27 cm
Wpl,y = 4860 cm³ OK

Verificação ao esforço transversal:

Fted = 80 N/cm²
Ved = 64,22 kN
 τ_{paralelo} = 0,089194 kN/cm²
 $\tau_{\text{paralelo max}}$ = 0,8 kN/cm² OK

Dimensionamento à flexão das madres de madeira

Med = 8,9 kNm
Fsyd = 9800 kPa = kN/m²
Wpl,y = 908,1633 cm³

b = 20 cm
h = 20 cm
Wpl,y = 1333,333 cm³ OK

Verificação ao esforço transversal:

Fted = 80 N/cm²
Ved = 8,1 kN
 τ_{paralelo} = 0,030375 kN/cm²
 $\tau_{\text{paralelo max}}$ = 0,8 kN/cm² OK

Dimensionamento à compressão de muros de alvenaria lado Norte

Nsd = 79,8 kN/m
fc,rd = 8 N/mm2 = MPa resistencia à compressão normalizada da alvenaria

k = 0,5
fb = 8
b = 0,7
fm = 4
b = 0,3
fk = 3,2490096 N/mm2 = MPa

$$f_k = k \times f_a^b \times f_m^B$$

altura efectiva

h = 4 m
pn = 0,75
hef = 3 m

$$h_{ef} = \rho_n \times h$$

espessura efectiva

tef = 60 cm
esbezeza = 5 Efeito de creep ignorado

Modulo de elasticidade

E = 1000*fk 3249,0096 N/mm2 = MPa

Øm = 0,58

classe de controlo de execução: 2 logo γm = 3

Resistência por comprimento:

fd = 1,0830032

$$N_{Rd} = \phi_m \times t_{ef} \times f_d$$
$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Nrd = 376,88511 kN/m OK

Dimensionamento à compressão de muros de alvenaria lado Oeste

Nsd = 66 kN/m
fc,rd = 8 N/mm2 = MPa resistencia à compressão normalizada da alvenaria

k = 0,5
fb = 8
b = 0,7
fm = 4
b = 0,3
fk = 3,2490096 N/mm2 = MPa

$$f_k = k \times f_a^b \times f_m^B$$

altura efectiva
h = 4 m
pn = 0,75
hef = 3 m

$$h_{ef} = \rho_n \times h$$

espessura efectiva
tef = 60 cm
esbeleza = 5 Efeito de creep ignorado

Modulo de elasticidade
E = 1000*fk 3249,0096 N/mm2 = MPa

Øm = 0,58
classe de controlo de execução: 2 logo γm = 3

Resistência por comprimento:

$$N_{Rd} = \phi_m \times t_{ef} \times f_d$$

fd = 1,0830032

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Nrd = 376,88511 kN/m OK

Dimensionamento à compressão de muros de alvenaria lado Sul

Nsd = 87 kN/m
fc,rd = 8 N/mm2 = MPa resistencia à compressão normalizada da alvenaria

k = 0,5
fb = 8
b = 0,7
fm = 4
b = 0,3
fk = 3,2490096 N/mm2 = MPa

$$f_k = k \times f_a^b \times f_m^B$$

altura efectiva

h = 4 m
pn = 0,75
hef = 3 m

$$h_{ef} = \rho_n \times h$$

espessura efectiva

tef = 60 cm
esbeleza = 5 Efeito de creep ignorado

Modulo de elasticidade

E = 1000*fk 3249,0096 N/mm2 = MPa

Øm = 0,58

classe de controlo de execução: 2 logo γm = 3

Resistência por comprimento:

$$N_{Rd} = \phi_m \times t_{ef} \times f_d$$

fd = 1,0830032

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

Nrd = 376,88511 kN/m

OK

Vigas metálicas principais

Prédimensionamento à flexão

Med =	107,12 kNm	Perfil	HEB 240
Fsyd =	275000 kPa = kN/m ²	Wpl,y =	1053 cm ³
Wpl,y =	389,52727 cm ³	Avz =	33,23 cm ²

Verificação da classe da secção

Alma do perfil à flexão			Banzo comprimido do perfil		
c =	164 mm		b =	300 mm	
t =	7,5 mm		tw =	7,5 mm	
ε =	0,9244163		r =	12 mm	
c/t =	21,866667	Classe	1	tf =	12 mm
				c/t =	11,1875
				Classe	1

		Classe			Classe
72*ε	66,557972	1	9*ε	108	1
83*ε	76,726551	2	10*ε	120	2
124*ε	114,62762	3	14*ε	168	3

Verificação do esforço transversal

Av =	33,23 cm ²	
Ved =	87,98 kN	
γM0 =	1	
Vplrd =	527,59711 kN	OK

verificação à encurvadura da alma

hi =	206 mm	
tw =	7,5 mm	
hi/tw =	27,46667	
η =	1	
72*ε/η =	66,55797	Não é necessário verificar a encurvadura

Interacção flexão-esforço transversal

Ved =	87,98 kN	
0,50*Vplrd =	263,79855 kN	Não é necessário reduzir o momento flector resistente da secção
Aw =	0,001545	
ρ =	0,4442062	
My,v,rd =	289,57445 kNm	
Mc,y,rd =	289,575 kNm	OK
Med =	107,12 kNm	Verifica a resistência à flexão

Vigas metálicas secundárias

Prédimensionamento à flexão

Med = 8,86 kNm
F_{syd} = 275000
W_{pl,y} = 32,218182 cm³

Perfil IPE 120
W_{pl,y} = 60,7 cm³
Av_z = 6,31 cm²

Verificação da classe da secção

Alma do perfil à flexão

c = 93,4 mm
t = 4,4 mm
ε = 0,9244163
c/t = 21,227273

Banzo comprimido do perfil

b = 64 mm
tw = 4,4 mm
r = 7 mm
tf = 6,3 mm
c/t = 3,619048

Classe 1

Classe 1

	Classe		Classe		Classe
72*ε	66,557972	1	9*ε	63	1
83*ε	76,726551	2	10*ε	70	2
124*ε	114,62762	3	14*ε	98	3

Verificação do esforço transversal

Av = 6,31 cm²
Ved = 11,92 kN
γ_{M0} = 1
V_{plrd} = 100,18471 kN

OK

verificação à encurvadura da alma

hi = 107,4 mm
tw = 4,4 mm
hi/tw = 24,40909
η = 1
72*ε/η = 66,55797

Não é necessário verificar a encurvadura

Interacção flexão-esforço transversal

Ved = 11,92 kN
0,50*V_{plrd} = 50,092353 kN

Não é necessário reduzir o momento flector resistente da secção

Aw = 0,0004726
ρ = 0,5807042
M_{y,v,rd} = 16,692461 kNm

M_{c,y,rd} = 16,6925 kNm

OK

Med = 8,86 kNm

Verifica a resistência à flexão