



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Projeto de Estabilidade de um Edifício

Vânia Alexandra Antunes Ferreira

Trabalho de Projeto para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Almeida Andrade

Covilhã, outubro 2015

Agradecimentos

Em primeiro lugar, como não poderia deixar de ser, o meu profundo agradecimento aos meus pais, pelo amor, pela confiança e principalmente por acreditarem sempre em mim.

Agradeço também ao Professor Doutor Jorge Andrade pela orientação do trabalho de projeto desenvolvido, pelas ajudas na elaboração do mesmo e pela partilha de conhecimentos.

Agradeço aos restantes professores da Universidade da Beira Interior pelos conhecimentos adquiridos que permitiram e ajudaram na minha formação académica.

Agradeço à Universidade da Beira Interior, por todos os meios disponibilizados durante a minha caminhada académica.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus colegas de faculdade, principalmente aos que se tornaram verdadeiros amigos, tanto pelas horas de estudo como pelas horas de lazer vividos nestes últimos anos.

Resumo

O trabalho desenvolvido tem como tema a elaboração de um projeto de estabilidade de uma estrutura em betão armado a construir. O presente documento refere-se ao relatório do projeto de estabilidade que foi desenvolvido, que inclui à parte deste, a memória descritiva e justificativa do edifício com as respetivas peças desenhadas, sendo que também é apresentado a estimativa orçamental para a construção do mesmo.

A estrutura analisada foi escolhida aleatoriamente e refere-se a um hotel rural, localizado na Covilhã, que foi analisado na sua essência por um programa de análise estrutural propriedade da empresa Arktec e que permite, num único modelo, o cálculo de todos os elementos estruturais.

O relatório apresenta as etapas que foi necessário abordar para a elaboração do projeto de estabilidade. As etapas mais relevantes prendem-se com a quantificação das ações, os critérios de dimensionamento, a solução estrutural adotada, o dimensionamento, a modelação e a análise estrutural do edifício com recurso ao programa de cálculo automático, as conclusões, a obtenção das peças desenhadas e, por fim, a estimativa orçamental.

O projeto foi elaborado tendo por base diversos regulamentos e normas, nomeadamente portuguesas e europeias, e por outros documentos como tabelas técnicas.

Palavras-chave

Estrutura; Betão armado; Segurança estrutural; Projeto de estabilidade; *Software* Tricalc

Abstract

This developed work has as theme the elaboration of a project of stability of a structure to build in reinforced concrete. This document refers to a report of the project of stability which was developed and which includes the descriptive and justification memory of the building with the correspondent drawings. It is also presented a budget approximate to its construction.

The structure analyzed was chosen in a random sample and it refers to a rural hotel, situated in Covilhã, which was analyzed in its essentially by a structural analytical program which belongs to Arktec, that allows in an unique model, the calculation of all the structure elements.

The report presents the stages which were necessary to deal with the elaboration of the stability's project. The most relevant stages are related to the quantification of actions, the criteria of measurement, the structural solution adopted, the measurement, the moulding and structural analysis of the building with the help of the program of an automatic calculation, the conclusions, the achieving of drawings and the budget approximate.

The project was elaborated having in mind several regulations and rules, namely Portuguese and European, and by other documents such as technique tables.

Keywords

Structure; Reinforced concrete; Structural security; Project of stability; Tricalc *software*

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Organização do trabalho.....	1
Capítulo 2 - Descrição e arquitetura do edifício	3
Capítulo 3 - Parâmetros de dimensionamento	4
3.1 Regulamentação aplicável.....	4
3.2 Critérios adotados para o dimensionamento	4
3.3 Classe de exposição.....	5
3.4 Recobrimento das armaduras	6
3.5 Materiais estruturais.....	7
3.6 Ações	8
3.6.1 Ações permanentes	8
3.6.2 Ações variáveis.....	8
3.7 Combinação de ações	11
3.8 Capacidade resistente do solo	12
3.9 Dimensionamento de lajes de escadas	12
Capítulo 4 - Solução estrutural	16
Capítulo 5 - Pré-dimensionamento.....	17
Capítulo 6 - Procedimento adotado para o cálculo automático	19
Capítulo 7 - Conclusão	23
Acervo Normativo.....	24
Anexos.....	25
Anexo A - Memória Descritiva e Justificativa	
Anexo B - Estimativa Orçamental	
Anexo C - Peças Desenhadas	

Lista de Abreviaturas

Letras maiúsculas latinas

$A_{s,dist}$	Área da armadura de distribuição
$A_{s,eff}$	Área da armadura efetiva
$A_{s,min}$	Área da seção transversal das armaduras mínimas de esforço transverso
$A_{s,min,dist}$	Área da armadura mínima de distribuição
A_{sx}	Armadura superior junto ao bordo apoiado na direção xx.
A_{sy}	Armadura superior junto ao bordo apoiado na direção yy.
B_{muro}	Base do muro
E_{cm}	Módulo de elasticidade secante do betão
EC	Eurocódigo
ELU	Estados Limites Últimos
ELS	Estados Limites de Serviço
G_{mi}	Valor médio das cargas permanentes para os ELS.
M_{Ed}	Valor de cálculo do momento fletor atuante
Q_{1k}	Valor característico da ação variável de base para os ELS
REBAP	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado
RSA	Regulamento de Segurança e Ações em Estruturas de Edifícios e Pontes
R_d	Valor de cálculo do esforço resistente
S_{0k}	Valor característico da ação da neve ao nível do solo
S_d	Valor de cálculo do esforço atuante
S_{Ek}	Esforço resultante da ação variável considerada como ação de base da combinação ser a sísmica
S_{Gik}	Esforço resultante de uma ação permanente
S_k	Valor característico da ação da neve
$s_{máx}$	Espaçamento máximo entre varões
S_{Q1k}	Esforço resultante da ação variável considerada como ação de base da combinação
V_{Ed}	Valor de cálculo do esforço transverso atuante
$V_{Rd,c}$	Valor de cálculo do esforço transverso resistente do elemento sem armadura de esforço transverso

Letras minúsculas latinas

b	Largura da seção transversal de betão armado
---	--

b_{muro}	Largura na parte inferior do muro
$c_{\text{min,b}}$	Recobrimento mínimo para os requisitos de aderência
$c_{\text{min,dur}}$	Recobrimento mínimo relativo às condições ambientais
c_{nom}	Recobrimento nominal
d	Altura útil de uma seção transversal
f_{cd}	Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão
f_{ck}	Valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade
f_{ctk}	Valor característico da tensão de rotura do betão à tração simples
f_{ctm}	Valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples
f_{yd}	Valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado
f_{yk}	Valor característico da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado
h_{neve}	Altitude do local
h	Altura da seção de betão
l	Comprimento do vão
pp_i	Peso próprio do elemento estrutural
q_{Ed}	Esforço de dimensionamento

Letras maiúsculas gregas

$\Delta c_{\text{dur,add}}$	Redução do recobrimento mínimo no caso de proteção adicional
$\Delta c_{\text{dur,st}}$	Redução do recobrimento mínimo no caso de utilização de aço inoxidável
$\Delta c_{\text{dur,y}}$	Margem de segurança

Letras minúsculas gregas

β_{neve}	Inclinação da cobertura
γ_{gi}	Coefficiente de segurança relativo às ações permanentes
γ_{gi}	Coefficiente de segurança relativo às ações variáveis
μ	Momento reduzido
μ_{neve}	Coefficiente que depende da forma da superfície sobre a qual se deposita a neve
θ	Inclinação da laje da escada
ϕ	Diâmetro de um varão
ρ	Taxa de armadura de esforço transversal
ψ_i	Coefficientes de redução
$\psi_1 \times Q_k$	Valor frequente da ação variável Q_k para os ELS
$\psi_2 \times Q_k$	Valor quase permanente da ação variável Q_k para os ELS

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Enquadramento

A construção de um edifício requer a elaboração de diferentes projetos de especialidade, sendo um deles o projeto de estabilidade. O projeto de estabilidade é dos mais importantes em engenharia civil, sendo constituído pela Memória Descritiva e Justificativa, com as respetivas peças desenhadas onde são apresentados os pormenores construtivos suficientemente explícitos para que não surjam dúvidas de interpretação durante a execução do edifício. O projeto depois de elaborado tem que ser verificado e aprovado por entidades competentes, de acordo com a legislação em vigor.

A elaboração deste tipo de projeto baseia-se essencialmente no cálculo dos esforços da estrutura e na verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos e de Serviço.

Os projetos de estabilidade são elaborados de acordo com a legislação em vigor, a partir de regulamentos e de normas.

Optou-se pela escolha da elaboração de um projeto na unidade curricular de Dissertação ou Projeto dado que desta forma poder-se-ia aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, mais concretamente das unidades curriculares da área de estruturas e construção, de uma forma interligada. Perspetivando deste modo como é que são elaborados os projetos estruturais nos gabinetes de engenharia civil, sendo que atualmente a análise estrutural nestes locais de trabalho é realizada através de *softwares* destinados para o efeito.

1.2 Organização do trabalho

O trabalho descrito neste documento encontra-se estruturado em 7 capítulos, a saber.

À parte do presente capítulo, a ordem de trabalhos foi a seguinte:

No Capítulo 2 fez-se um estudo das plantas de arquitetura fornecidas, uma vez que, uma boa leitura das mesmas permite conjugar a parte arquitetónica e estrutural do edifício, de modo a garantir segurança e rentabilidade funcional ao edifício.

Em seguida, no Capítulo 3 foram analisados determinados parâmetros necessários para a execução da análise estrutural do edifício. Averiguaram-se os requisitos dos regulamentos, normas e outros documentos. Procedeu-se à escolha dos materiais adequados, quantificaram-

se as ações, definiram-se as combinações de ações e estabeleceu-se a capacidade resistente do solo. Sendo que também é apresentado o dimensionamento de uma laje de escadas.

No Capítulo 4 escolheu-se a solução estrutural mais adequada, sendo esta em betão armado, assente em sapatas, lintéis de fundação, muros de suporte, pilares e lajes vigadas.

Antes da modelação da estrutura no *software*, no Capítulo 5, fez-se um pré-dimensionamento dos elementos estruturais, para que fossem atribuídas dimensões a alguns elementos.

O Capítulo 6 descreve o procedimento que foi seguido no programa de cálculo automático, desde a fase da modelação até ao dimensionamento da estrutura.

Como conclusão, no Capítulo 7, fez-se uma abordagem do trabalho desenvolvido com as devidas conclusões.

Capítulo 2 - Descrição e arquitetura do edifício

O edifício a construir é de utilidade pública e refere-se a um Hotel Rural localizado na zona da Covilhã.

A sua configuração arquitetónica tem a forma de um “L”, com dimensões máximas de 33,55mx36,55m. O seu desenvolvimento em altura não ultrapassa os 7,60m.

O edifício tem 4 pisos. O piso da cave está totalmente enterrado, sendo que os restantes estão totalmente à superfície.

O piso da cave é destinado a diferentes fins, estando dividido em diferentes zonas, nomeadamente: estacionamento de veículos ligeiros, sala para o armazenamento de barricas, laboratório, lavandaria e vestuários.

O piso 0 é destinado à receção dos hóspedes, sendo que, por isso, apresenta uma zona para a receção e uma sala de estar. Este piso também possui uma zona de dormidas, sala de refeições com a respetiva copa, sala de prova e uma adega. Na parte exterior existe estacionamento para um veículo ligeiro, sendo que o estacionamento é coberto pela laje do piso 1.

O piso 1 destina-se à zona de dormidas dos hóspedes e do proprietário do hotel. Neste piso existe uma cobertura acessível à circulação de pessoas.

O piso 2 é a cobertura do edifício. Este piso tem três coberturas distintas: duas coberturas planas, uma acessível à circulação de pessoas e outra não, e uma cobertura inclinada.

Capítulo 3 - Parâmetros de dimensionamento

3.1. Regulamentação aplicável

Durante a elaboração do projeto de estabilidade é necessário consultar diversos regulamentos, normas e outros documentos, de modo a que a segurança estrutural do edifício seja garantida.

A regulamentação portuguesa e europeia foi a seguinte:

- RSA - Regulamento de Segurança e Ações em Estruturas de Edifícios e Pontes, 1983;
- REBAP - Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, 1983;
- NP EN 206-1:2007 Betão - Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas;
- Eurocódigo 1 - Parte 1-1: Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifício;
- Eurocódigo 2 - Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.

3.2. Critérios adotados para o dimensionamento

As ações foram quantificadas tendo em consideração o que está estabelecido nos diversos regulamentos, normas e outros documentos, isto é, dependendo do tipo de ação consultaram-se diferentes documentos. As ações permanentes foram determinadas tendo em conta os pesos próprios dos materiais que estão descritos em Tabelas Técnicas, as sobrecargas de utilização foram determinadas a partir da conjugação das exigências que estão estabelecidas no RSA e no EC1-Parte 1.1 e a ação da neve e a ação sísmica foram estipuladas recorrendo somente ao RSA.

O pré-dimensionamento dos elementos estruturais foi efetuado através da utilização de regras e expressões empíricas abordadas nas aulas de Betão Armado.

A estrutura foi modelada tridimensionalmente no software Tricalc e foram calculados os esforços. Somente, e por opção, os esforços e o dimensionamento das escadas junto ao muro de suporte foram obtidos por processos simplificados. As reações dos esforços das escadas foram consideradas na estrutura modelada.

O dimensionamento dos elementos estruturais foi obtido tendo em conta os critérios de segurança estrutural estabelecidos no Eurocódigo 2.

O RSA quantifica as ações e estabelece os critérios gerais a ter em conta na verificação da segurança do edifício, independentemente dos materiais que o constituem. O regulamento quantifica as ações presentes e combina as mesmas, adotando coeficientes de segurança e de redução, a fim de obter os esforços atuantes no edifício.

No entanto, somente as indicações do RSA não garantem a segurança estrutural do edifício, uma vez que, nas indicações presentes neste regulamento não constam parâmetros relacionados com as propriedades do betão armado. Por esta razão é necessário seguir as indicações do REBAP, que avalia parâmetros relacionados com as propriedades do material e verifica a segurança estrutural do edifício tendo em consideração os ELU e os ELS.

Após o cálculo dos esforços é necessário fazer-se o dimensionamento dos elementos tendo em conta os Estados Limites Últimos, ELU, e os Estados Limites de Serviço, ELS.

Nos ELU considera-se que ocorrem prejuízos muito severos no edifício que podem levar ao seu colapso. Considera-se que existem três ELU, nomeadamente: o de resistência (à flexão simples e composta, ao esforço transversal, à torção e ao punçoamento), o de encurvadura e o de equilíbrio. A verificação neste estado é realizada segundo o princípio de que o valor de cálculo do esforço atuante de uma determinada seção tem que ser menor ou igual ao valor de cálculo do esforço resistente da mesma seção. No ELS considera-se que para não ocorrerem prejuízos muito severos no edifício, há que ter em conta dois estados, nomeadamente: o de fendilhação e de deformação.

O dimensionamento das escadas, que não foi modelada, foi efetuado tendo em conta os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos nas aulas de Betão Armado, através das indicações presentes nos Eurocódigos. A verificação da segurança deste elemento também foi efetuada em relação aos ELU e aos ELS.

3.3. Classe de exposição

A escolha da classe de exposição está relacionada com as condições ambientais presentes no local de implantação do edifício e com a localização dos elementos estruturais.

Segundo a EN 206-1 2007, Quadro 1, verifica-se a existência de três classes de exposição:

- X0 - betão de regularização;
- XC2 - betão nos elementos estruturais em contato direto com o terreno sujeito a longos períodos de contato com água (betão nos elementos enterrados);
- XC1 - betão nos restantes elementos estruturais (betão no interior do edifício com baixa humidade do ar).

3.4. Recobrimento das armaduras

O recobrimento das armaduras é um dos parâmetros que tem que estar especificado nas peças desenhadas do projeto de estabilidade. Segundo o EC2 Parte 1-1 4.4.1.1 denomina-se por recobrimento nominal e é determinado pela seguinte expressão:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

O c_{min} tem que assegurar a transmissão eficaz das forças de aderência, a proteção do aço contra a corrosão e uma adequada resistência ao fogo. Segundo o EC2 Parte 1-1 4.4.1.2 (2) P, o valor de c_{min} tem que satisfazer a seguinte condição:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Segundo o EC2, Quadro 4.2 para varões isolados o valor de $c_{min,b}$ corresponde ao diâmetro do varão. Neste caso, como ainda não foram dimensionados os elementos estruturais, considera-se por hipótese que o diâmetro dos varões é de 10 mm, ou seja, $c_{min,b} = 10\text{mm}$:

Segundo o EC2, Quadro 4.4N os valores do recobrimento mínimo de acordo com a classe de exposição são os seguintes:

- X0 - 10mm;
- XC1 - 15mm;
- XC2 - 25mm.

Deste modo,

$$\text{Para os elementos da classe XC1: } c_{min} = \max\{10\text{mm}; 15 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\} = 15\text{mm}$$

$$\text{Para os elementos da classe XC2: } c_{min} = \max\{10\text{mm}; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\} = 25\text{mm}$$

Segundo o EC2, 4.4.1.2(6), 4.4.1.2(7) e 4.4.1.2(8), os valores recomendados para $\Delta c_{dur,\gamma}$, $\Delta c_{dur,st}$ e $\Delta c_{dur,add}$, na ausência de especificações, é de 0mm.

Segundo o EC2, 4.4.1.3, o valor recomendado de Δc_{dev} é de 10mm.

Assim sendo,

$$\text{Para os elementos da classe XC1: } c_{nom} = 15\text{mm} + 10\text{mm} = 25\text{mm}$$

$$\text{Para os elementos da classe XC2: } c_{nom} = 25\text{mm} + 10\text{mm} = 35\text{mm}$$

Conclui-se que os elementos estruturais nas fundações têm um recobrimento de 3,5cm e os restantes elementos, à superfície, têm um recobrimento de 2,5cm.

No entanto foi considerado que para os elementos em contacto com o solo, fundações e muros de cave e muros de suporte, o recobrimento seria de 5cm.

3.5. Materiais estruturais

A escolha dos materiais estruturais adequados e a verificação das suas propriedades requereu a consulta de regulamentos que averiguam as limitações dos mesmos.

Segundo a EN 206-1 2007, Quadro F.1, de acordo com as classes de exposição consideradas verificam-se as seguintes classes de resistência mínima:

- X0 - C12/15;
- XC1 e XC2 - C25/30.

Considerou-se que todos os elementos estruturais em betão armado deveram ser efetuados com recurso à utilização de betão C30/37. Para trabalhos de regularização e outros trabalhos deverá ser utilizado o betão C12/15.

De acordo com EC2, Quadro 3.1, as características do betão de classe C30/37 são as seguintes:

- $f_{ck,cilindro} = 30\text{MPa}$
- $f_{ck,cubo} = 37\text{MPa}$
- $f_{cd,cilindro} = 20,0\text{MPa}$
- $f_{cd,cubo} = 24,7\text{MPa}$
- $f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$
- $f_{ctk,0,05} = 2,0\text{MPa}$
- $f_{ctk,0,95} = 3,8\text{MPa}$
- $E_{cm} = 33,0\text{GPa}$

Considerou-se que todos os elementos estruturais em betão armado deveram ser efetuados com recurso à utilização de armaduras ordinárias A400NR. O aço a utilizar é laminado a quente com superfície rugosa.

De acordo com o EC2, Quadro 3.1, as características do aço S4000 são as seguintes:

- $f_{ysk} = 400\text{MPa}$
- $f_{ysd} = 348\text{MPa}$
- $E_s = 200\text{GPa}$

3.6. Ações

3.6.1. Ações permanentes

As ações permanentes são ações constantes ou com pequena variabilidade do seu valor médio ao longo da vida útil do projeto do edifício. As ações permanentes consideradas foram os pesos próprios dos elementos estruturais e não estruturais, que foram estipulados a partir das Tabelas Técnicas.

As ações permanentes consideradas foram as seguintes:

- Peso específico do betão armado: 25kN/m^3 ;
- Revestimentos usuais de pavimentos - tacos, alcatifa ou mosaicos cerâmicos (incluindo até 5 cm de camada de regulação e assentamento) e estuque ou teto falso na face inferior da laje: $1,5\text{kN/m}^2$;
- Paredes simples de tijolo furado com 15cm de espessura: $1,8\text{kN/m}^2$;
Para simplificar o procedimento de cálculo, optou-se por distribuir o peso das paredes simples pela planta dos pisos, tendo-se aplicado um coeficiente de 0,3. Deste modo, considerou-se que o peso das paredes simples é de $1,3\text{kN/m}^2$.
- Paredes duplas de tijolos furados com 11cm e 15cm de espessura: $3,0\text{kN/m}^2$;
- Ação em guarda e parapeitos em locais públicos: $1,0\text{kN/m}$.

3.6.2. Ações variáveis

As ações variáveis são ações com grande variabilidade do seu valor médio ao longo da vida útil do projeto do edifício e dependendo da sua origem, dividem-se em diferentes tipos. As ações variáveis analisadas foram as seguintes: sobrecarga de utilização (em pavimentos, coberturas e varandas), ação da neve e ação sísmica.

- Sobrecarga de utilização

Considerou-se a existência de três tipos de sobrecargas: sobrecargas em pavimentos, em coberturas acessíveis e em coberturas não acessíveis.

- Sobrecarga em pavimentos

De acordo com o EC1, Quadro 6.1, o edifício pertence à Categoria A - atividades domésticas e residenciais, na qual estão inseridas as salas dos edifícios de habitação, os quartos privados e de hotéis, as cozinhas e os lavabos. Segundo o EC1, Quadro 6.2, para a Categoria A o valor recomendado da sobrecarga em pavimentos é de $2,0\text{kN/m}^2$.

Para efeitos de simplificação de cálculo considerou-se que as varandas, por serem de pouca utilização, têm o mesmo valor que a sobrecarga em pavimentos.

Consultando também o RSA verificou-se que o valor de 2,0kN/m² para a sobrecarga em pavimentos está em concordância com o EC1.

- Sobrecarga nas coberturas acessíveis e não acessíveis:

Segundo a planta de arquitetura, o Hotel Rural tem coberturas acessíveis e não acessíveis. De acordo com o EC1, Quadro 6.9, as coberturas acessíveis pertencem à Categoria I e as coberturas não acessíveis à Categoria H.

O EC1, art. 6.3.4.1 (2), estabelece que para a Categoria I o valor recomendado da sobrecarga nas coberturas acessíveis é igual ao valor da sobrecarga em pavimentos, nomeadamente, 2,0kN/m².

Segundo o EC1, Quadro 6.10, verificou-se que para a Categoria H o valor recomendado da sobrecarga nas coberturas não acessíveis é de 0,4kN/m².

Consultado também o RSA verificou-se que os valores recomendados de 2,0kN/m² e de 0,4kN/m², para as coberturas acessíveis e não acessíveis respetivamente estão em concordância com o EC1.

- Ação da neve

A ação da neve tem que ser quantificada, já que, a construção do hotel rural está prevista para um terreno com uma altitude de 550 m, sendo que, segundo o artigo 26.^o do RSA é necessário considerar a ação da neve nos locais onde a altitude é igual ou superior a 200 m. A ação da neve foi quantificada integralmente pelo RSA.

O artigo 27.^o define as seguintes expressões para a quantificação da ação da neve:

$$S_k = \mu \times S_{ok}$$
$$S_{ok} = \frac{1}{400} \times (h - 50)$$

Sendo h = 550 m, obtém-se:

$$S_{ok} = \frac{1}{400} \times (550 - 50) = 1,25$$

O coeficiente μ , de acordo com o Anexo II, Quadro II-I, é definido consoante a forma e a inclinação da cobertura.

Para as coberturas planas está estabelecido que μ assume o valor de 0,8.

Deste modo:

$$\beta = 21,0^\circ \rightarrow s_k = 0,80 \times 1,25 = 1,00$$

Através dos desenhos arquitetónicos, constata-se que a cobertura inclinada de duas águas não é simétrica, fazendo ângulos com a cumeeira de 21,0° e de 28,0°. Verifica-se que o coeficiente μ assume o valor de 0,96 e de 1,15 para os ângulos de 21,0° e de 28,0°, respetivamente.

Deste modo:

$$\beta = 21,0^\circ \rightarrow s_{k1} = \mu_1 \times s_{ok} = 0,96 \times 1,25 = 1,20$$

$$\beta = 28,0^\circ \rightarrow s_{k1} = \mu_1 \times s_{ok} = 1,15 \times 1,25 = 1,44$$

Em suma, o valor da ação da neve assume diferentes valores consoante a forma e a inclinação das coberturas, sendo o seu valor de 1,00 para as coberturas planas e de 1,20 e 1,44 para a cobertura inclinada de duas águas.

- Ação sísmica

A quantificação da ação sísmica foi contabilizada por cálculo automático através do software Tricalc, segundo os critérios estabelecidos no RSA.

A ação do sismo foi contabilizada segundo uma análise dinâmica tridimensional, sendo que foi necessário definir determinados dados no *software*, como por exemplo, a zona sísmica, a natureza do terreno, a tipologia, a cota do solo, o coeficiente de amortização, e a consideração ou não, da ação sísmica vertical e da verificação do Artigo 33.4 do REBAP.

Para a quantificação da ação do sismo, o RSA considera-se que o país está dividido em quatro zonas, designadas por A,B,C e D, sendo que cada zona sísmica tem um coeficiente de sismicidade associado, como está estabelecido no artigo 29.⁰, Quadro I. Através do ANEXO III do mesmo regulamento verifica-se que o concelho da Covilhã pertence à zona sísmica D.

O artigo 29.⁰ estabelece que a natureza do terreno pode ser definida seguindo três tipos diferentes. A natureza do terreno considerada foi do Tipo II que é referente a “ solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos”.

A tipologia adotada é em pórtilco, a cota do solo considerada foi de 550 m e o coeficiente de amortização escolhido foi de 5%.

A consideração da ação sísmica vertical e a verificação do Artigo 33.4.⁰ do REBAP não é aplicável ao edifício.

3.7. Combinação de ações

Na verificação da segurança em relação aos Estados Limites devem ser considerados as diferentes combinações de ações, cuja atuação simultânea seja plausível de acontecer e que produzem no edifício os efeitos mais desfavoráveis.

As combinações de ações foram analisadas automaticamente pelo programa de cálculo estrutural Tricalc, de acordo com as indicações do RSA, sendo que foram contabilizados os efeitos das ações gravíticas (permanente, sobrecarga de utilização e neve) e o efeito da ação dinâmica do sismo.

As combinações analisadas foram as seguintes:

- Em relação aos ELU:

- Combinação fundamental de ações com sobrecarga nos pisos como ação variável base:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} \times S_{Gik} + \gamma_q \times \left[S_{Q1k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{oj} \times S_{Qjk} \right]$$

- Combinação fundamental de ações com a ação sísmica como ação variável base:

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \gamma_q \times S_{Ek} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} \times S_{Qjk}$$

- Em relação aos ELS:

- Combinação rara

$$\sum_{i=1}^m G_{mi} + Q_{1k} \sum_{j=2}^n \Psi_{1j} \times Q_{kj}$$

- Combinação frequente

$$\sum_{i=1}^m G_{mi} + \Psi_{1 \times} Q_{1k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} \times Q_{kj}$$

- Combinação quase permanente

$$\sum_{i=1}^m G_{mi} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} \times Q_{kj}$$

Os coeficientes de segurança adotados foram os seguintes:

- Ações permanentes, $\gamma_g = 1,35$
- Ações variáveis $\gamma_q = 1,5$

Os coeficientes de redução adotados pelo Tricalc foram os seguintes:

- Sobrecarga de utilização, $\Psi_0 = 0,7$; $\Psi_1 = 0,5$; $\Psi_2 = 0,3$
- Neve, $\Psi_0 = 0,7$; $\Psi_1 = 0,5$; $\Psi_2 = 0,2$
- Sismo, $\Psi_0 = 0,0$; $\Psi_1 = 0,0$; $\Psi_2 = 0,0$

3.8. Capacidade resistente do solo

Não havendo informações das condições geológicas do local de implantação do edifício, considerou-se uma tensão admissível do solo de 0,3MPa. No entanto, recomenda-se que durante os trabalhos de escavação, a fiscalização deve verificar as condições de fundação.

3.9. Dimensionamento de lajes de escadas

O dimensionamento das duas lajes de escadas, com vãos de 3,35m e de 4,80m, junto ao muro de suporte foi efetuado do seguinte modo:

Dimensionando da laje com vão de 3,35m.

1) Modelo de cálculo

Considera-se como modelo de cálculo uma viga simplesmente apoiada.

Altura, $h=1,50m$

Desenvolvimento na horizontal $l=3,00m$

2) Pré-dimensionamento

$$h = \frac{l_{\text{vão}}}{25 \text{ a } 30} = \frac{3,35}{25 \text{ a } 30} = 0,11 \text{ a } 0,13 \text{ m}$$

Adota-se $h=0,15 \text{ m}$

3) Ações

- Carga permanente
 - Peso próprio

$$pp_{\text{total}} = \frac{h}{\cos\theta} \times \gamma_{\text{betão}} + \frac{h_{\text{degrau}}}{2} \times \gamma_{\text{betão}}$$

$$PP_{\text{total}} = \frac{0,15}{\cos(26,56)} \times 25 + \frac{0,15}{2} \times 25 = 6,07 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento = 1,5kN/m²

Deste modo a carga permanente é 7,57kN/m²

- Carga variável

- Sobrecarga de utilização = 3,0 kN/m²

4) Esforços de Dimensionamento

$$q_{Ed} = \gamma_g \times CP + \gamma_q \times SC = 1,35 \times 7,57 + 1,5 \times 3,0 = 14,72 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{Ed}^+ = \frac{q_{Ed} \times l^2}{8} = \frac{14,72 \times 3,00^2}{8} = 16,56 \text{ kNm/m}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_{Ed} \times l}{2} = \frac{14,72 \times 3,00}{2} = 22,08 \text{ kN/m}$$

5) Verificação da Segurança ao E.L.U de flexão

$$d \approx h - rec - \varnothing_{\text{varão,hip}}/2 = 15 - 2,5 - 1,0/2 = 12,00 \text{ cm}$$

$$f_{cd}(C30/37) = 20,0\text{MPa}$$

$$f_{syd}(A400) = 348\text{MPa}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{16,56}{1,0 \times 0,12^2 \times 20 \times 10^3} = 0,0575$$

$$\omega = \mu \times (1 + \mu) = 0,0576 \times (1 + 0,0576) = 0,0609$$

$$A_s = \omega \times b \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{syd}} = 0,0609 \times 1,0 \times 0,120 \times \frac{20}{348} \times 10^4 = 4,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Adota-se $\varnothing 10 // 0,10 \text{ cm}^2/\text{m}$

Verificação da quantidade de armadura, EC2-9.3.1.1(4):

$$A_{s,min} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{400} \times 1,0 \times 0,120 \times 10^4 = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m} > 0,0013 \times b_t \times d$$

$$= 0,0013 \times 1,0 \times 0,120 \times 10^4 = 1,56 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$f_{ctm}(\text{C30/37}) = 2,9 \text{ MPa}$$

$$A_{s,min} = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m} \leq A_{s,ef} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Verificação do espaçamento máximo entre varões, EC2 - 9.3.1.1(3)

$$s_{m\acute{a}x} = 2 \times h = 2 \times 15 = 30\text{cm} \leq 25\text{cm} \rightarrow s_{m\acute{a}x} = 25\text{cm} \geq s_{ef} = 10\text{cm}$$

6) Verificação da segurança ao ELU de Esforço Transverso

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} + k_l \times \sigma_{cp}] \times b_w \times d$$

$$\geq (0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} + k_l \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad \sigma_{cp} = 0 \quad f_{ck}(\text{C30/37}) = 30\text{MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{120}} = 2,29 \leq 2,0 \text{ KO} \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}(\emptyset 10//0,100)}{b_w \times d} = \frac{7,85 \times 10^{-4}}{1,0 \times 0,120} = 0,0065$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \times 2 \times (100 \times 0,0065 \times 30)^{1/3}] \times 1,0 \times 0,120 \times 10^3 = 77,51 \text{ kN/m}$$

$$\geq (0,035 \times 2^{3/2} \times 30^{1/2}) \times 1,0 \times 0,120 \times 10^3 = 65,07 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c} = 77,51 \text{ kN/m} \geq V_{Ed} = 27,01 \text{ kN/m}$$

7) Verificação da Segurança as ELS - Deformação (Verificação Indireta)

EC2-7.4.2: Quadro 7.4N - Verifica

8) Verificação da Segurança ao ELS - Fendilhação (Verificação Indireta)

EC2 - 7.3.3(1): $h \leq 200 \text{ mm}$ - Verifica

9) Armadura de distribuição

EC2 9.3.1.1(2):

$$A_{s,dist} = 0,20 \times A_s(\emptyset 10//0,10) = 0,20 \times 7,85 = 1,57 \text{ cm}^2/\text{m}$$
$$A_{s,dist}^{\min} = \frac{0,10 \times b_w \times d}{100} = \frac{0,10 \times 1,0 \times 0,120 \times 10^4}{100} = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Espaçamento máximo entre varões, EC2-9.3.1.1(3)

$$s_{\max} = 3 \times 10 = 30\text{cm} \leq 40\text{cm} \rightarrow s_{\max} = 40 \text{ cm} \geq s_{ef} = 10\text{cm}$$

10) Armadura de superior junto ao bordo apoiado

$$A_{sx}^- \geq \left| \begin{array}{l} 0,25 \times A_s(\emptyset 10//0,10) = 0,25 \times 7,85 = 1,96 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \emptyset 6//0,20 (1,41 \text{ cm}^2/\text{m}) \end{array} \right.$$

Adota-se $\emptyset 8//0,15 (3,35 \text{ cm}^2/\text{m})$

$$A_{sy}^- \geq \left| \begin{array}{l} 0,2 \times A_s(\emptyset 8//0,150) = 0,2 \times 3,35 = 0,67 \text{ cm}^2/\text{m} \\ \emptyset 6//0,30 (0,94 \text{ cm}^2/\text{m}) \end{array} \right.$$

Adota-se $\emptyset 8//0,15 (3,35 \text{ cm}^2/\text{m})$

O mesmo procedimento foi adoptado para a outra laje, tendo-se obtido a mesma armadura.

Capítulo 4 - Solução estrutural

Optou-se por uma solução de lajes maciças assentes em pórticos de betão armado.

Considerou-se que as cargas do edifício serão transmitidas ao terreno de fundação através de sapatas, simples e conjuntas, e por muros de cave. Considerou-se também a existência de vigas de fundação a ligar as sapatas, de modo a garantir estabilidade ao edifício, minimizando os assentamentos diferenciais e absorvendo os momentos provenientes das ações horizontais e das excentricidades das cargas dos elementos verticais. As dimensões das sapatas e dos lintéis de fundação estão indicadas nas peças desenhadas para o efeito.

A solução estrutural, por vezes, é condicionada pelo carácter arquitetónico do edifício, já que, a arquitetura do edifício, nomeadamente a sua geometria, limita a liberdade de escolha quanto ao posicionamento dos elementos estruturais, bem como as suas dimensões. No entanto, a escolha do posicionamento dos pilares não foi muito delimitada, uma vez que a arquitetura do edifício não apresenta grandes espaços abertos. Deste modo, tentou-se criar uma malha o mais regular possível, em que os pilares ficassem alinhados e paralelos uns em relação aos outros. As dimensões dos pilares variam consideravelmente, podendo-se ver as suas dimensões nas peças desenhadas destinadas para o efeito.

As vigas têm dimensões variáveis, estando as mesmas indicadas nas peças desenhadas destinadas para o efeito.

As lajes maciças da cobertura têm 15cm de espessura e as restantes 20cm.

Capítulo 5 - Pré-dimensionamento

Antes do cálculo dos esforços, o programa requer que sejam pré-dimensionados alguns elementos estruturais.

Deste modo:

- Lajes

As lajes maciças são elementos estruturais que trabalham essencialmente a flexão e ao esforço transversal, sendo recomendado para as mesmas uma espessura entre os 12cm e os 30 cm. Sendo o vão menor o vão condicionante, o pré-dimensionamento das lajes maciças é determinado pela seguinte fórmula empírica:

$$h = \frac{l_{\min}}{25 \text{ a } 30}$$

De modo a simplificar o processo de pré-dimensionamento considerou-se para todas as lajes a espessura de 20 cm.

- Vigas

O pré-dimensionamento das vigas, nomeadamente a altura das vigas foi determinado pela seguinte fórmula empírica:

$$h = \frac{l}{10 \text{ a } 12}$$

Os comprimentos dos vãos das vigas são muito diferentes e por esta razão, quando se aplicou a forma empírica, os valores de h foram muito dispersos, tendo-se obtido valores de h entre os 10cm e os 60cm. De modo a simplificar o processo de pré-dimensionamento e a introdução das dimensões das seções das vigas no *software* Tricalc, optou-se por pré-dimensionar todas as vigas com uma altura mínima de 25cm. Esta opção não condiciona o dimensionamento final da estrutura, uma vez que o programa verifica se a seção atribuída é viável para a segurança estrutural do edifício, tendo-se aumentado posteriormente a seção de algumas vigas como era previsível.

O pré-dimensionamento da largura das vigas teve em conta as dimensões da seção dos pilares.

- Pilares

À semelhança do que aconteceu com o pré-dimensionamento das vigas também se optou por atribuir dimensões mínimas às seções dos pilares, tendo-se aplicado para todos os pilares a seção de 25x25cm. Mais uma vez, esta opção não condicionou o dimensionamento final da

estrutura, porque o programa também verificou se a seção atribuída é viável para a segurança estrutural do edifício, tendo-se também aumentado posteriormente as seções de alguns pilares.

- Fundações

Não foi necessário efetuar nenhum pré-dimensionamento para as sapatas uma vez que o Tricalc não pede esta informação, já que calcula automaticamente as dimensões das sapatas. No entanto, na fase da modelação da estrutura foi necessário indicar o tipo de fundação desejada e a tensão admissível do solo a que supostamente a estrutura está sujeita, tendo-se considerado uma tensão de 0,3MPa.

Considerou-se a existência de vigas de fundação a ligar as sapatas, de modo a garantir a estabilidade de edifício, minimizando os assentamentos diferenciais e absorvendo os momentos provenientes das ações horizontais e das excentricidades das cargas dos elementos verticais. Mais uma vez, não foi preciso efetuar o pré-dimensionamento para estes elementos, já que o programa não pede esta informação, calculando automaticamente as dimensões dos lintéis.

Os muros de cave e de suporte foram pré-dimensionados pelas seguintes fórmulas empíricas.

$$B_{\text{muro}} = \frac{1}{2} \times H \text{ a } \frac{2}{3} \times H$$
$$b_{\text{muro}} = \frac{1}{2} \times H \text{ a } \frac{1}{10} \times H$$

Largura na parte superior: 20cm a 30 cm

H é a altura do muro.

Para ambos os muros considerou-se $B_{\text{muro}} = 1,40\text{m}$ e $b_{\text{muro}} = 0,25 \text{ m}$.

- Escadas

O pré-dimensionamento das escadas é semelhante ao pré-dimensionando das lajes maciças.

Apenas as escadas junto ao muro de suporte foram dimensionadas manualmente, sendo somente necessário realizar um pré-dimensionamento para estas. As restantes escadas, por opção, foram dimensionadas diretamente no programa de cálculo, não sendo necessário realizar um pré-dimensionamento, uma vez que o programa só pede informações sobre as dimensões das escadas e as cargas a que estão sujeitas.

Capítulo 6 - Procedimento adotado para o cálculo automático

O programa permite, num único modelo tridimensional, o cálculo de todos os elementos estruturais, traduzindo uma maior produtividade, segurança e uma melhor capacidade de análise de resultados.

De seguida explica-se, por ordem de execução, o procedimento seguido no Tricalc, sendo que são descritos os comandos do programa que foram utilizados.

- **Geometria**

A definição da geometria da estrutura pode ser efetuada de diferentes maneiras, sendo que escolheu-se definir a mesma através da criação de uma rede tridimensional. Deste modo, com a função **Geometria> Rede** definiu-se uma retícula espacial ortogonal de nós e de barras paralelas aos eixos gerais XYZ do programa, sendo que os eixos X e Z correspondem ao plano horizontal e o eixo Y ao eixo vertical.

De seguida, na caixa de diálogo **Rede Geométrica** inserem-se, em centímetros, as distâncias horizontais entre os eixos dos pilares da estrutura nas direções dos eixos gerais X e Z e as distâncias verticais entre os vários planos da estrutura na direção do eixo geral Y. No caso em que não foi possível a introdução de nós e de barras por este método, procedeu-se a outras vias, tais como, a cópia de nós já existentes e criação de nós intermédios pela divisão de barras.

Na mesma caixa de diálogo na opção **Nós Rígidos** e **Nós Articulados** define-se o tipo de ligação entre as barras, sendo que inicialmente considerou-se que todas as barras são ligadas por nós rígidos. Na opção **Cota 0** escolheu-se **Com Barras**, uma vez a cota da fundação é inferior à cota 0.

No menu **Geometria** encontram-se todas as funções para a definição da geometria das fundações.

As sapatas simples e conjuntas foram introduzidas sobre os nós encastrados da estrutura modelada, recorrendo às opções **Geometria> Sapata> Introduzir Isolada** e **...> Introduzir Conjunta**.

Os lintéis de fundação foram introduzidos entre os nós das sapatas, através da opção **Geometria> Lintéis de Fundação> Por Dois Nós**.

Para as sapatas e para os lintéis de fundação não foi necessário efetuar o pré-dimensionamento, já que o programa dimensiona automaticamente estes elementos através de critérios estabelecidos em **Cálculo> Fundações> Opções**.

Os muros de suporte foram introduzidos através da opção **Geometria> Muros de Cave - Contenção - Parede> Introduzir Muros de Cave - Contenção**. Foi necessário definir o plano onde se queriam colocar os muros de suporte e definiram-se parâmetros relacionados com o pré-dimensionamento e sobre as condições do terreno.

Em **Geometria> ...Lajes Maciças...Introd. Maciça** define-se as lajes da estrutura. Definiu-se os planos das lajes, o pré-dimensionamento e algumas ações actantes sobre as mesmas.

A definição da geometria das escadas foi efetuada recorrendo à opção **Geometria> Escadas e Rampas**. Nesta opção definiu-se parâmetros como o tipo das escadas, as suas dimensões gerais e as ações atuantes sobre as mesmas. Após a introdução de toda a geométrica, através da opção **Geometria> Verificar**, o programa verifica se a modelação da estrutura foi efetuada com sucesso. Se ocorrer erros de modelação aparece uma caixa de diálogo com os erros a corrigir.

- Seções

O programa dispõe de dois métodos para pré-dimensionar as barras da estrutura, o manual e o automático. O método escolhido foi o manual, sendo que neste método é o utilizador que escolhe as seções que deseja utilizar para cada barra. À função **Secção> Definir** acede uma caixa de diálogo que fornece a seleção da série e da seção que quer atribuir às barras. No botão **Procurar** acede-se a todas as seções existentes na base de perfis do programa, sendo que, de seguida, escolhe-se a série e o perfil desejado e pressiona-se no botão **Aceitar**. Por fim, para atribuir as seções às barras utiliza-se o botão **Atribuir** e selecionam-se as barras. Ao selecionar a seção desejada o programa contabiliza automaticamente o peso próprio do elemento estrutural.

- Ações

Após a definição da geometria da estrutura definem-se as ações. Através da função **Ação> Definir** acede-se a uma caixa de diálogo onde se podem especificar os tipos de ações a introduzir. O Tricalc, como já foi dito, realizou automaticamente todas as combinações possível em função do tipo de ação introduzido e da regulamentação imposta no RSA.

Ao definir-se uma ação, é necessário indicar a hipótese (um valor numérico de 0 a 24) através da qual se define o tipo de ação (permanente, sobrecarga, vento, sismo, etc). Em função do valor da ação e da hipótese, o programa combinará essa ação com as outras ações.

Através da opção **Ações> Opções** escolhem-se as hipóteses de combinações desejadas para efetuar posteriormente o cálculo da estrutura. O programa permite o cálculo automático ou explícito das combinações, sendo que optou-se pelo cálculo automático das hipóteses de ações segundo regras de combinações indicadas no RSA.

Na opção **Ações> Definir** no campo **Em barras** existem vários tipos de ações que podem ser introduzidas nestes tipos de elementos. Nas barras onde se previa a construção de paredes duplas foram atribuídas ações uniformemente distribuídas correspondentes ao peso próprio destes elementos, sendo necessário introduzir o **valor da ação em kN/m**, o **vetor de aplicação (0,-1,0** para ações gravíticas) e a **hipótese da ação**.

Na opção **Ações> Definir** no campo **Em planos** existem vários tipos de ações que podem ser introduzidas nestes tipos de elementos. Nos planos adequados foram definidos certo tipo de ações superficiais, tanto permanentes como variáveis. A ação permanente introduzida corresponde ao peso próprio das paredes simples, que considerou-se distribuído pela superfície dos pisos, e as ações variáveis correspondem à ação da sobrecarga de utilização e da neve. Neste campo é necessário introduzir o valor da ação em **kN/m²**, o **vetor de aplicação (0,-1,0** para ações gravíticas) e as **hipóteses de ações**.

Para que a ação sísmica seja contabilizada é necessário ativar a opção **Sismo Ativo em Ações> Opções**. Na mesma caixa de diálogo definiu-se o método de análise sísmica, tendo-se escolhido o **método RSA Dinâmico**. Em **Opções de Sismo** foram definidos parâmetros para que seja efetuada a análise sísmica dinâmica. Os parâmetros definidos foram os seguintes: **Localização da estrutura, Natureza do Terreno, Cota do solo, Tipo de estrutura**. Após a definição das opções de cálculo para o sismo, procede-se ao cálculo da ação sísmica, através da função **Ações> Introd. Ações Sísmicas**.

- Definição dos materiais

Na opção **Calcular> Materiais** no separador de **Betão Armado** selecionam-se os grupos de elementos que se quer atribuir aos materiais, define-se a classe do betão e do aço e os coeficientes de segurança para ambos. Selecionou-se o **Betão C30/37** e o **Aço nervurado S400**, com 1,35 e 1,15 para os coeficientes de segurança, respetivamente.

- Cálculo dos esforços

Após a definição das ações e a atribuição das seções, pode-se proceder ao cálculo dos esforços. Antes de efetuar o cálculo dos esforços é necessário efetuar o cálculo da modelação do edifício, em **Calcular> Cálculo da Modelação**. Em seguida, calculam-se os esforços nas barras da estrutura em **Calcular> Esforços> Calcular**. Após este procedimento aparece uma caixa de diálogo que pergunta se deseja verificar a geometria. Como esta verificação já foi efetuada anteriormente responde-se negativamente e o cálculo de esforços prossegue. Durante o cálculo aparece no ecrã uma caixa de diálogo com mensagens sobre as várias fases de cálculo.

- Cálculo das armaduras

Em **Cálculo> Armaduras> Opções> Gerais** aparece uma caixa de diálogo, com as opções que fixam os critérios de armaduras de todas as barras (vigas e pilares) de betão armado introduzidas na estrutura. É neste procedimento que são definidos os diâmetros mínimos e máximos dos varões.

Através da opção **Cálculo> Armaduras de Barras> Calcular** calcula-se a armadura das vigas e dos pilares de betão armado do edifício. Durante o cálculo, à semelhança do que acontece com o cálculo dos esforços, aparecem no ecrã mensagens que correspondem ao processo em curso. Caso o cálculo tenha sido efetuado com sucesso, isto é, sem incompatibilidade com as opções definidas, aparece a mensagem de **“Armadura Finalizada”**. No entanto, se o cálculo não foi efetuado com sucesso aparece a mensagem **“Armadura Incorreta. Solicite ERROS!”**. Neste caso, é necessário selecionar a opção **...> Listar Erros**, onde aparece uma lista com as barras com erros de armadura e o tipo de erro detetado. Durante o processo de cálculo os erros ocorridos foram de diferentes tipos, sendo os seguintes os mais comuns: **“ Percentagem máxima de armadura”**, **“Resistência em planta”** e **“Não se pode colocar a armadura necessária devido à flecha”**. De seguida, procedeu-se à correção dos erros através do alterar da seção das barras. Após esta fase foi necessário voltar a calcular as armaduras nas barras até aparecer a mensagem de **“Armadura Finalizada”**.

- Resultados

Após o cálculo de todos os elementos e da correção dos erros ocorridos é possível obter todos os resultados numéricos e gráficos desejados. Em **Resultados> Armaduras** obtém-se os seguintes desenhos de armaduras: **“Vigas independentes”**, **“Pórticos”**, **“Lintéis de Fundação”**, **“Muros de Cave-Contenção”**, **“Escadas e Rampas”**, **“Quadro de Pilares”**, **“Quadro de Sapatas Simples”** e **“Quadro de Sapatas Conjuntas”**. Em **Resultados> Armaduras** obtém-se os desenhos nas armaduras em lajes. Sendo que de seguida, procedeu-se ao tratamento de todos os desenhos, através do *software* de desenho AutoCad.

No mesmo menu também possível obter a quantidade de material que é necessário para a execução da obra. Através da opção **Resultados> Medições> Opções** aparece uma caixa de diálogo onde se seleciona as diferentes opções que intervêm na medição do betão armado.

Capítulo 7 - Conclusão

Considera-se que a elaboração do projeto de estabilidade foi executado como previsto desde o início do projeto. Em anexo, está também disponível a memória descritiva e justificativa, a estimativa orçamental e as peças desenhadas.

A elaboração do projeto de estabilidade permitiu obter uma noção de como são elaborados os referidos projetos, tanto nos procedimentos adotados como nas ferramentas de cálculo utilizadas.

Todas as fases para a elaboração do projeto foram cumpridas, com um maior ou menor grau de dificuldade.

A utilização de um programa de cálculo foi útil e vantajoso, pois permitiu uma maior facilidade nos cálculos e simultaneamente uma maior economia de tempo. Apesar de o programa efetuar o dimensionamento integral da estrutura, os conhecimentos adquiridos nas unidades curriculares da área de estruturas e construção foram indispensáveis para verificar a veracidade dos resultados obtidos.

Assim sendo, a estrutura é viável de ser construída, uma vez que, cumpre os critérios de verificação aos ELU e ELS. Esta constatação é verdadeira, pois o programa está definido para efetuar a verificação dos mesmos, sendo que todos os erros de cálculo solicitados pelo programa foram corrigidos.

Acervo Normativo

R.S.A.	Regulamento de Segurança e Ações em Estruturas de Edifício e Pontes, 1983
R.E.B.A.P.	Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado, 1983
NP EN 206-1:2007	Betão - Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade
Eurocódigo 0	Bases para o projeto de estabilidade
Eurocódigo 1 - Parte 1-1	Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios
Eurocódigo 2 - Parte 1-1	Regras gerais e regras para edifícios

Anexos

Anexo A - Memoria Descritiva e Justificativa

Projeto de Estabilidade

HOTEL RURAL

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Covilhã, outubro 2015

Índice

1. Introdução	1
2. Descrição e arquitetura do edifício	1
3. Solução estrutural.....	1
4. Condições geotécnicas	2
5. Critérios gerais de dimensionamento	2
6. Ações	2
6.1. Ações permanentes	2
6.2. Ações variáveis	2
7. Combinações de ações	3
8. Materiais.....	3
9. Análise estrutural	4
10. Pormenores não especificados	4
11. Regulamentação.....	4
12. Bibliografia	5

1. Introdução

A presente memória descritiva e justificativa refere-se à elaboração do Projeto de Estabilidade do Hotel Rural localizado na zona da Covilhã.

2. Descrição geral do edifício

O edifício a construir é de utilidade pública e refere-se a um Hotel Rural localizado na zona da Covilhã.

A sua configuração arquitetónica tem a forma de um “L”, com dimensões máximas de 33,55m x 36,55m. O seu desenvolvimento em altura não ultrapassa os 7,60m.

O edifício tem 4 pisos. O piso da cave está totalmente enterrado, sendo que os restantes estão totalmente à superfície.

O piso da cave é destinado a diferentes fins, estando dividido em diferentes zonas, nomeadamente: estacionamento de veículos ligeiros, sala para o armazenamento de barricas, laboratório, lavandaria e vestuários.

O piso 0 é destinado à receção dos hóspedes, sendo que, por isso, apresenta uma zona para a receção e uma sala de estar. Este piso também possui uma zona de dormidas, sala de refeições com a respetiva copa, sala de prova e uma adega. Na parte exterior existe estacionamento para um veículo ligeiro, sendo que o estacionamento é coberto pela laje do piso 1.

O piso 1 destina-se à zona de dormidas dos hóspedes e do proprietário do hotel. Neste piso existe uma cobertura acessível à circulação de pessoas.

O piso 2 é a cobertura do edifício. Este piso tem três coberturas distintas: duas coberturas planas, uma acessível à circulação de pessoas e outra não, e uma cobertura inclinada.

3. Solução estrutural

Optou-se por uma solução de lajes maciças assentes em pórticos de betão armado.

Considerou-se que as cargas do edifício serão transmitidas ao terreno de fundação através de sapatas, simples e conjuntas, e por muros de cave. Considerou-se também a existência de vigas de fundação a ligar as sapatas, de modo a garantir estabilidade ao edifício, minimizando os assentamentos diferenciais e absorvendo os momentos provenientes das ações horizontais e das excentricidades das cargas dos elementos verticais. As dimensões das sapatas e dos lintéis de fundação estão indicadas nas peças desenhadas para o efeito.

A solução estrutural, por vezes, é condicionada pelo carácter arquitetónico do edifício, já que, a arquitetura do edifício, nomeadamente a sua geometria, limita a liberdade de escolha quanto ao posicionamento dos elementos estruturais, bem como as suas dimensões. No entanto, a escolha do posicionamento dos pilares não foi muito delimitada, uma vez que a arquitetura do edifício não apresenta grandes espaços abertos. Deste modo, tentou-se criar uma malha o mais regular possível, em que os pilares ficassem alinhados e paralelos uns em relação aos outros.

As dimensões dos pilares variam consideravelmente, podendo-se ver as suas dimensões nas peças desenhadas destinadas para o efeito.

As vigas têm dimensões variáveis, estando as mesmas indicadas nas peças desenhadas destinadas para o efeito. As lajes da cobertura têm 15cm de espessura e as restantes 20cm.

4. Condições geotécnicas

Não havendo informações das condições geológicas do local de implantação do edifício, considerou-se uma tensão admissível do solo de 0,3MPa. No entanto, recomenda-se que durante os trabalhos de escavação, a fiscalização deve verificar as condições de fundação.

5. Critérios gerais de dimensionamento

A segurança estrutural do hotel rural a construir requer a consulta de diversos regulamentos, normas e outros documentos, que estão especificados na bibliografia, desde a fase da elaboração do projeto até à sua execução.

O dimensionamento do hotel rural cumpriu os critérios gerais de verificação da segurança estrutural em relação aos Estados Limites Últimos.

6. Ações

6.1. Ações permanentes

As ações permanentes consideradas foram as seguintes:

- Peso específico do betão armado: 25kN/m³;
- Revestimentos usuais de pavimentos; 1,5kN/m²;
- Paredes simples de tijolo furado de espessura de 15 cm: 1,8kN/m²;
- Paredes duplas de tijolos furados de 11cm e 15cm: 3,0kN/m²;
- Ação em guarda e parapeitos em locais públicos: 1,0kN/m.

6.2. Ações variáveis

- Sobrecarga de utilização:
 - Em pavimentos: 2,0kN/m²;
 - Coberturas acessíveis: 2,0kN/m²;
 - Coberturas não acessíveis: 0,4kN/m².
- Ação da neve:
 - Cobertura plana: 1,0kN/m²;
 - Cobertura inclinada: 1,2kN/m².

- Ação sísmica:

- Zona sísmica: D;

- Natureza do terreno: tipo II - solos coerentes muito duros, duros e de consistência média, solos incoerentes compactos;

- Tipologia: pórtico

- Ductilidade: normal;

- Cota do solo: 550 m

- Coeficiente de sismicidade: 5%

Nota: A ação sísmica foi considerada através de programa de análise estrutural Tricalc.

7. Combinações de ações

As combinações de ações foram analisadas automaticamente pelo programa de cálculo estrutural Tricalc, de acordo com as indicações do RSA, sendo que foram contabilizados os efeitos das ações gravíticas (permanente, sobrecarga de utilização e neve) e o efeito da ação dinâmica do sismo.

As combinações analisadas foram as seguintes:

- Combinação fundamental de ações com sobrecarga nos pisos como ação variável base;
- Combinação fundamental de ações com a ação sísmica como ação variável base;
- Combinação rara;
- Combinação frequente;
- Combinação quase permanente.

Os coeficientes de segurança utilizados foram os seguintes:

- Ação permanentes: $\gamma_g = 1,35$
- Ação variável: $\gamma_q = 1,5$

Os coeficientes de redução adotados foram os seguintes:

- Sobrecarga de utilização, $\Psi_0 = 0,7 ; \Psi_1 = 0,5 ; \Psi_2 = 0,3$
- Neve, $\Psi_0 = 0,7 ; \Psi_1 = 0,5 ; \Psi_2 = 0,2$
- Sismo, $\Psi_0 = 0,0 ; \Psi_1 = 0,0 ; \Psi_2 = 0,0$

8. Materiais

A execução dos elementos estruturais em betão armado deverá ser efetuada com recurso à utilização de betão C30/37 e de armaduras ordinárias A400NR. Para trabalhos de regularização e outros fins deverá ser utilizado betão C12/15.

De acordo com EC2, Quadro 3.1, as características do betão de classe C30/37 são as seguintes:

- $f_{ck,cilindro} = 30\text{MPa}$
- $f_{ck,cubo} = 37\text{MPa}$
- $f_{cd,cilindro} = 20,0\text{MPa}$
- $f_{cd,cubo} = 24,7\text{MPa}$
- $f_{ctm} = 2,9\text{MPa}$
- $f_{ctk,0,05} = 2,0\text{MPa}$
- $f_{ctk,0,95} = 3,8\text{MPa}$
- $E_{cm} = 33,0\text{GPa}$

De acordo com o EC2, Quadro 3.1, as características do aço S4000 são as seguintes:

- $f_{ysk} = 400\text{MPa}$
- $f_{ysd} = 348\text{MPa}$
- $E_s = 200\text{GPa}$

9. Análise estrutural

A estrutura foi modelada e dimensionada no *software* de cálculo estrutural Tricalc, da Arktec. O programa permite, num único modelo, o cálculo de todos os elementos estruturas, o que traduz uma maior produtividade, segurança e uma melhor capacidade de análise de resultados.

10. Pormenores não especificados

Aplica-se a legislação atual dos regulamentos impostos e outras indicações, que normalmente vigoram em obras de construção, para qualquer objeto que não foi mencionado.

11. Regulamentação

A elaboração do presente projeto de estabilidade regeu-se pelos requisitos dos regulamentos e documentos abaixo indicados:

- Eurócodigo 1: Parte 1-1: Ações gerais, pesos volúmicos, sobrecargas em edifícios;
- Eurócodigo 2: Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios.
- Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA);
- Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP).
- EN 206-1 2007 - Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade.

12. Bibliografia

- [1] Eurócodigo 1: Parte 1-1: Ações gerais, pesos volúmicos, sobrecargas em edifícios
- [2] Eurócodigo 2: Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios
- [3] EN 206-1 2007 - Betão: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- [4] Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA)
- [5] Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP)
- [6] Tabelas Técnicas; Braço Farinha
- [7] Manual de instruções do programa de cálculo automático Tricalc 7.1

(Nome do engenheiro(a) responsável)

Covilhã, outubro de 2015

Anexo B - Estimativa orçamental

A seguinte estimativa orçamental diz respeito às quantidades de betão e de aço a utilizar durante a execução da obra. O preço do betão armado foi arbitrado para um valor médio e as quantidades dos materiais foram geradas pelo Tricalc.

Quadro B.1. Quantidades dos materiais em m³ de betão

Elementos	Betão [m³]
Sapatas	45,203
Lintéis	15,114
Lajes	327,784
Muros	140,811
Escadas	9,681
Vigas e Pilares	167,553
Total	706,146

Quadro B2. Preço final do betão armado

	Quantidades	Preço Unitário	Preço
Fornecimento e aplicação de betão C30/37 com fornecimento e aplicação de armaduras de aço S400, incluindo corte, moldagem, sobreposição e desperdícios. Incluindo também cofragem e descoragem.	706,146m ³	300€/m ³	211.844,00€

A breve estimativa orçamental permite concluir que o custo do betão armado a fornecer é de aproximadamente 211.844,00 euros.

Anexo C - Peças Desenhadas

A parte desenhada inclui 9 desenhos representativos das soluções adotadas para os elementos estruturais, com os devidos pormenores construtivos.

As peças desenhadas estão organizadas da seguinte maneira:

Quadro C1. Organização das peças desenhadas

Título do Desenho	Nº Desenho	Escala
Planta de fundações	1	1/100
Sapatas de fundação	1	1/50
Lintéis de fundação	1	1/50
Muro de suporte	1	1/50
Muro de cave	1	1/50
Planta do piso 0	1	1/100
Planta do piso 3.05m	1	1/100
Planta do piso 6.10m	1	1/100
Plantas das coberturas	1	1/100
Pormenor de ligação do muro com pilar embutido	1	s/escala
Pormenor de ligação da sapata isolada com pilar centrado	1	s/escala
Pormenor de ligação viga com pilar de canto	2	s/escala
Pormenor de ligação viga com pilar interior	2	s/escala
Pórticos do piso 0.00m	2	1/100
Pórticos do piso 3.05m	2, 3 e 4	1/100
Pórticos do piso 6.10m	4 e 5	1/100
Pórticos das coberturas	5	1/100
Quadro e tipo de pilares da cota -3.90m	6	1/25
Quadro e tipo de pilares da cota -2.00m	6	1/25
Quadro e tipo de pilares da cota -0.50m	7	1/25
Quadro e tipo de pilares da cota 0.00m	7	1/25
Quadro e tipo de pilares da cota 3.05m	8	1/25
Quadro e tipo de pilares da cota 6.10m	8	1/25
Armadura inferior do piso 0.00m	9	1/100
Armadura superior do piso 0.00m	9	1/100
Armadura inferior do piso 3.05m	9	1/100
Armadura superior do piso 3.05m	9	1/100
Armadura inferior do piso 6.10m	9	1/100
Armadura superior do piso 6.10m	9	1/100
Escadas	9	1/25