

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL E LIGHT STEEL FRAMING (LSF)

Rui Miguel da Silva Andrade

**Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Estruturas
Dissertação**

ORIENTADOR(ES): Doutor Rui Carlos Gonçalves Graça e Costa
Mestre Vítor Manuel Lopes de Brito Saraiva Barreto

dezembro de 2016
Dissertação submetida na Universidade do Algarve

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém pensou sobre aquilo que todo o mundo vê
Arthur Schopenhauer

AGRADECIMENTOS

À Irene Andrade por todo o amor e compreensão e ao Silvério Andrade por todas as palavras sábias, João Andrade por ser companheiro de uma vida, à Helena Brito e à Verónica Santos.

Ao Pedro, Márcio, Tartufo, Sara, Soraia e ao Filipe por estarem sempre presentes, acreditando que seria possível a conclusão deste longo caminho que nem sempre foi a descer.

Aos Professores Vítor Barreto e Rui Costa pela paciência, perseverança, horas despendidas e trabalho realizado em conjunto.

Aos Engenheiros Nelson Ferreira e Mickael Cavaco todos os ensinamentos transmitidos, toda a amizade, carinho e compreensão, bem como a todos os funcionários da empresa N-Projectos.

Aos meus amigos e família em geral que me apoiaram com palavras e gestos.

RESUMO

A atual dissertação assenta na avaliação resistente entre dois tipos de construção: a construção tradicional em alvenaria e betão armado e a construção que recorre a aço enformado a frio que se designa por *Light Steel Framing* (LSF).

O método a que se recorreu para o dimensionamento do edifício cuja estrutura é em aço é o método prescritivo, que é um método de dimensionamento de estruturas expedito para projetar estruturas com baixo grau de complexidade (um ou dois pisos), sendo por isso dimensionável através de arranjos de soluções pré concebidas.

No dimensionamento do edifício em alvenaria com estrutura em betão armado são respeitadas as normas europeias, nomeadamente os Eurocódigos.

Recorreu-se a um programa de modelação por elementos finitos SAP 2000.V17 para estudar o comportamento global das duas soluções e para o dimensionamento de pilares e vigas da segunda solução

No estudo está integrado também uma análise de desempenho térmico a ambas as construções por forma a que se conheçam as necessidades energéticas de cada solução.

Por fim o estudo incorpora uma análise económica dos dois tipos de construção, bem como dos produtos empregues em cada sistema construtivo, apresentando uma avaliação económica, um preço inicial, e, um custo de cada solução a longo prazo, considerando as necessidades energéticas de cada solução de modo a avaliar a sustentabilidade de cada solução construtiva.

PALAVRAS-CHAVE: LSF, Light Steel Framing, Sustentabilidade, Betão Armado

ABSTRACT

The current dissertation is based on the analytical comparison between two construction methods: the traditional method in masonry and reinforced concrete and a method which uses cold formed steel sections which is known as Light Steel Framing (LSF).

The applied method to the steel building design is the prescriptive method, which is a simplified approach, suitable for buildings with a maximum of two floors.

As for the masonry building, the design is performed in compliance with the European standards (EN NP1992) and the structure is modelled with the finite element program SAP 2000.V17.

In the study, the thermal performance analysis of both construction methods is also included, aiming the evaluation of the power needs on each one.

Finally, the study includes an analysis of the construction methods, and the used build products with the purpose of the cost evaluation on short-time (construction) and long term, by evaluating the energy needs of each solution and their sustainability.

KEYWORDS: LSF, concrete, sustainability, cold formed steel sections, light steel framing

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CONSTRUÇÃO TRADICIONAL E LIGHT STEEL FRAMING (LSF)

Mestrado em Engenharia Civil

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados serão devidamente citados na listagem de referências incluídas

Rui Miguel da Silva Andrade

.....

Direitos de Cópia ou Copyright

© **Copyright:** Rui Miguel da Silva Andrade

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

ÍNDICE GERAL

| | |
|----------------------|-----|
| AGRADECIMENTOS | iii |
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vii |

| | |
|--|----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. ENQUADRAMENTO GERAL..... | 1 |
| 1.2. ORGANIZAÇÃO | 2 |
| 2. Construção em Betão Armado e Alvenaria..... | 3 |
| 2.1. AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO | 3 |
| 2.1.1. AÇÕES PERMANENTES | 3 |
| 2.1.2. AÇÕES VARIÁVEIS..... | 4 |
| 2.1.3. AÇÃO VARIAÇÃO DE TEMPERATURA..... | 4 |
| 2.1.4. SOBRECARGAS | 4 |
| 2.1.5. AÇÃO DO VENTO | 5 |
| 2.1.5.1. COEFICIENTE DE PRESSÃO EXTERIOR..... | 7 |
| 2.1.5.2. COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERIOR | 7 |
| 2.1.5.3.PRESSÃO TOTAL..... | 11 |
| 2.1.6. AÇÃO SÍSMICA | 11 |
| 2.1.6.1. DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE IMPORTÂNCIA | 11 |
| 2.1.6.2. DETERMINAÇÃO DA ZONA SÍSMICA | 11 |
| 2.1.6.3. CÁLCULO DO VALOR DA ACELERAÇÃO À SUPERFÍCIE DO TERRENO..... | 12 |
| 2.1.6.4.ESPECTROS DE RESPOSTA..... | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.6.5.CÁLCULO DO PARÂMETRO S..... | 14 |
| 2.1.6.6.REGULARIDADE EM ALTURA..... | 15 |
| 2.2. COMBINAÇÕES DE AÇÕES..... | 16 |
| 2.2. SITUAÇÕES DE PROJETO E ESTADOS LIMITES..... | 16 |
| 3. Estrutura em Betão Armado | 17 |
| 3.1 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA | 17 |
| 3.1.1 RECOBRIMENTO DE ARMADURAS | 17 |
| 3.2. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS E ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO EM LAJES..... | 18 |
| 3.2.1. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE LAJES AOS ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO POR DEFORMAÇÃO..... | 18 |
| 3.2.2. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE LAJES AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO..... | 19 |
| 3.3. ARMADURA PRINCIPAL MÍNIMA E MÁXIMA..... | 21 |
| 3.3.1. ARMADURAS DE DISTRIBUIÇÃO EM LAJES..... | 22 |
| 3.3.2. ESPAÇAMENTO MÁXIMO DOS VARÕES DA ARMADURA PRINCIPAL..... | 22 |
| 3.3.3. ARMADURAS DE BORDO SIMPLEMENTE APOIADO | 22 |
| 3.3.4. ARMADURA DE CANTO | 22 |
| 3.4. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA AOS ESTADOS LIMITES DE RESISTENCIA POR CORTE EM LAJES..... | 23 |
| 3.5. VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE VIGAS AOS ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO POR DEFORMAÇÃO | 24 |
| 3.6 VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA DE VIGAS AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS POR FLEXÃO E POR CORTE..... | 25 |
| 3.7. DIMENSIONAMENTO DE PILARES | 28 |
| 3.7.1.EFEITOS DE 2ª ORDEM GLOBAIS..... | 28 |
| 3.7.2.EFEITOS DE 2ª ORDEM LOCAIS | 29 |
| 3.7.3.CÁLCULO DOS EFEITOS DAS IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS GLOBAIS..... | 31 |

| | |
|--|----|
| 3.8. DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÕES | 35 |
| 3.8.1. DIMENSIONAMENTO GEOTÉCNICO DE SAPATAS..... | 35 |
| 3.8.2. FATORES DE CAPACIDADE RESISTENTE | 36 |
| 3.8.2.1. DIMENSIONAMENTO DE ARMADURAS EM SAPATAS CENTRADAS..... | 38 |
| 3.8.2.2. DIMENSIONAMENTO DE ARMADURAS EM SAPATAS EXCÊNTRICAS | 39 |
| 3.8.3. VIGAS DE FUNDAÇÃO | 40 |
| 3.8.4. ESTIMATIVA DE QUANTIDADES DE MATERIAL NECESSÁRIOS | 41 |
| 3.9. AVALIAÇÃO TÉRMICA | 42 |
| 3.9.1.ENVOLVENTE EXTERIOR | 42 |
| 3.9.2.ENVOLVENTE INTERIOR..... | 43 |
| 3.9.3.COBERTURA INCLINADA..... | 43 |
| 3.9.4.VÃOS ENVIDRAÇADOS | 44 |
| 3.9.5. RESUMO DO ESTUDO TÉRMICO..... | 44 |
| 3.10. MAPA DE ORÇAMENTOS | 45 |
| 4. ESTRUTURA EM LIGHT STEEL FRAMING | 46 |
| 4.1.DESCRICÃO GERAL DO SISTEMA CONSTRUTIVO E SUA CONCEÇÃO | 46 |
| 4.1.1.FUNDAÇÕES E ANCORAGEM..... | 47 |
| 4.1.2.CONSTITUIÇÃO DAS PAREDES..... | 49 |
| 4.1.3.PLACAS DE OSB | 53 |
| 4.1.4.CONSTITUIÇÃO DOS VÃOS | 54 |
| 4.1.5.CONSTITUIÇÃO DOS PISOS | 55 |
| 4.2.DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM LIGHT STEEL FRAMING | 60 |
| 4.2.1- QUANTIFICAÇÃO DE AÇÕES NA ESTRUTURA EM LSF | 60 |
| 4.2.1.1. AÇÕES PERMANENTES | 60 |
| 4.2.1.1.2. SOBRECARGAS | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1.1.3. VENTO | 61 |
| 4.2.1.1.4. NEVE | 61 |
| 4.2.1.1.5. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA | 61 |
| 4.2.1.1.6. AÇÃO SÍSMICA | 61 |
| 4.2.1.1.7. SITUAÇÕES DE PROJETO E COMBINAÇÃO DE AÇÕES | 61 |
| 4.2.1.1.8. ACELERAÇÕES MÁXIMAS | 64 |
| 4.2.2- DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA COM RECURSO AO MÉTODO PRESCRITIVO | 64 |
| 4.2.2.1. INTRODUÇÃO | 64 |
| 4.2.2.2. VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE APLICABILIDADE DO MÉTODO PRESCRITIVO | 64 |
| 4.2.2.3. DIMENSIONAMENTO DE VIGA DE PAVIMENTO | 66 |
| 4.2.2.4. DIMENSIONAMENTO DE MONTANTES | 67 |
| 4.2.2.5. DIMENSIONAMENTO DE VERGA | 68 |
| 4.2.2.6. DIMENSIONAMENTO DE COBERTURA | 71 |
| 4.3. AVALIAÇÃO TÉRMICA | 74 |
| 4.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR | 74 |
| 4.3.2. ENVOLVENTE INTERIOR | 75 |
| 4.3.3. COBERTURA INCLINADA | 75 |
| 4.3.4. VÃOS ENVIDRAÇADOS | 76 |
| 4.4. RESUMO ESTUDO TÉRMICO | 76 |
| 4.5. ESTIMATIVA DE QUANTIDADES DE MATERIAL E ORÇAMENTO | 77 |
| 5. BALANÇO ECONÓMICO ENTRE OS DOIS SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO | 78 |
| 5.1. PRAZO DE EXECUÇÃO | 78 |
| 5.2. CUSTO DA CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA, PISOS E ENVOLVENTE | 80 |
| 5.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA SOLUÇÃO | 81 |

| | |
|---|----|
| 6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS | 84 |
| 6.1.CONCLUSÕES | 84 |
| 6.2.DESENVOLVIMENTOS FUTUROS..... | 84 |
| 7. BIBLIOGRAFIA | 86 |
| ANEXOS | 88 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.1-Fachadas ao vento e valores dos coeficientes de pressões externas..... | 7 |
| FIGURA 2.2- Calculo do parâmetro μ | 7 |
| Figura 2.3- Ábaco que relaciona o parâmetro c_{pi} com o parâmetro μ | 8 |
| Figura 2.4- Valores de C_{pi} com o vento Sul-Norte e Norte – Sul respetivamente | 9 |
| Figura 2.5- Resultante de pressões | 9 |
| Figura 2.6- Pressão do Vento Sul - Norte nas fachadas | 10 |
| Figura 2.7 - Valores das pressões para o vento Norte – Sul | 10 |
| Figura 2.8- Zonamento sísmico em Portugal | 12 |
| Figura 2.9- Espectro de resposta obtido para o sismo do Tipo 1 | 13 |
| Figura 2.10- Espectro de resposta obtido para o sismo do Tipo 2..... | 14 |
| Figura 2.11- Critérios de regularidade em altura de edifícios. | 15 |
| Figura 3.1 Disposição dos painéis de laje no teto do rés-do-chão e teto do 1º andar..... | 18 |
| Figura 3.2- Fator K de usado para o pré-dimensionamento de lajes..... | 20 |
| Figura 3.3- Plantas do Rés-do-chão e 1º andar com esforços | 21 |
| Figura 3.4- Linhas de rotura e distâncias ao bordo da laje..... | 23 |
| Figura 3.5- Método para a determinação do coeficiente de fluência, (σ_c, t_0) | 25 |
| Figura 3.6 - Solução adotada para as vigas..... | 27 |
| Figura 3.7 - Pilares adotados | 28 |
| Figura 3.8 - Comprimentos efetivos para vários tipos de pilar..... | 30 |
| Figura 3.9- Ábaco de dimensionamento à flexão composta para pilares..... | 33 |
| Figura 3.10 - Soluções adotadas para os pilares | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.11- Modelo de escoras e tirantes para sapata centrada | 38 |
| Figura 3.12 – Equilíbrio de forças entre escoras e tirantes no ponto F..... | 38 |
| Figura 3.13- Modelo de escoras e tirantes para sapata excêntrica | 39 |
| Figura 3.14 - Solução adotada para as vigas de fundação | 41 |
| Figura 3.15- Envoltente exterior da construção tradicional..... | 42 |
| Figura 3.16- Envoltente interior em alvenaria..... | 43 |
| Figura 3.17- Cobertura Inclinada em laje de betão | 43 |
| Figura 3.18- Classificação energética da habitação..... | 44 |
| Figura 4.1-Constituintes de uma estrutura em LSF | 46 |
| Figura 4.2 – Pormenor da verticalidade dos perfis..... | 47 |
| Figura 4.3 – Pormenores das ligações das ancoragens..... | 48 |
| Figura 4.4 - Representação de ensoleiramento geral | 48 |
| Figura 4.5 -Pormenor da ligação do canal à fundação e do acréscimo de resistência conferido pela rigidificação da base do montante | 49 |
| Figura-4.6 Alçado e respetivo corte do painel estrutural em Aço Leve..... | 50 |
| Figura 4.7- Pormenorização da união de dois painéis..... | 51 |
| Figura 4.8- Pormenorização da união de três painéis | 51 |
| Figura 4.9- Pormenorização da união de quatro painéis | 52 |
| Figura 4.10- Perspetiva dos três tipos de uniões | 52 |
| Figura 4.11 Exemplo de placa de OSB..... | 53 |
| Figura 4.12 Fixação dos painéis OSB..... | 53 |
| Figura 4.13 Pormenor da fixação do pavimento. | 54 |
| Figura 4.14- Caminho tomado pelas cargas na existência de um vão. | 54 |
| Figura 4.15- Disposição do numero de ombreiras consoante o tamanho do vão | 55 |
| Figura 4.16- Planta dos elementos principais em LSF | 56 |
| Figura 4.17- Piso estrutural com placa OSB superior já colocada..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.18- Vários tipos de vigas compostas por perfis | 58 |
| Figura 4.19- Planta, alçado e pormenor de uma viga simplesmente apoiada | 58 |
| Figura 4.20- Planta, alçado e pormenor de uma viga continua | 59 |
| Figura 4.21- NA.I- Valores recomendados para os limites dos deslocamentos horizontais.. | 62 |
| Figura 4.22- Legenda do Quadro NA.I | 63 |
| Figura 4.23- Valores máximos de dimensões e ações admitidos para o método prescritivo | 65 |
| Figura 4.24- Valores máximos admissíveis em vãos simples com reforços de apoio..... | 66 |
| Figura 4.25- Espessura mínima montantes (mm) – Parede de 2,7 m sujeita a carga de um piso, teto e cobertura; Piso térreo de edifício de 2 pisos. (Aço S235) | 67 |
| Figura-4.26 Espessura mínima montantes (mm) – Parede de 2,7 m sujeita apenas carga do teto e cobertura; edifício térreo ou 2º piso de edifício de 2 pisos. (Aço S235)..... | 68 |
| Figura 4.27 – Vãos admissíveis em vergas que suportam cargas de 1 piso, teto e cobertura. Piso térreo de edifício de 2 pisos. Aço S235..... | 69 |
| Figura 4.28 – Vãos admissíveis em vergas que suportam cargas do teto e cobertura. Aço S235 | 70 |
| Figura 4.29 – Montantes necessários nos extremos de um vão (normais e de ombreira) | 70 |
| Figura 4.30 - Requisitos mínimos de fixação da verga ao montante | 71 |
| Figura 4.31 - Vãos máximos de vigas de teto de dois vãos sem reforço de apoio com sótão acessível..... | 72 |
| Figura 4.32 - Vãos máximos em planta de vigas de cobertura..... | 73 |
| Figura 4.33 -Número de parafusos #10 nas ligações entre vigas de cobertura e teto | 74 |
| Figura 4.34- Envoltente exterior da construção em LSF..... | 74 |
| Figura 4.35- Envoltente interior LSF..... | 75 |
| Figura 4.36- Cobertura inclinada LSF | 75 |
| Figura 4.37- Classificação energética da habitação..... | 76 |
| Figura 5.1- Plano de Trabalho para a execução da estrutura no sistema de betão armado. | 79 |
| Figura 5.2- Gráfico que entra em consideração com os custos iniciais e com os custos de eletricidade de acordo com as necessidades de cada sistema de construção. | 82 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 2.1 – Ações que atuam na laje de piso..... | 3 |
| Quadro 2.2 – Ações que atuam na laje de cobertura | 4 |
| Quadro 2.3 – Resumo das sobrecargas, cargas aplicadas, e coeficientes redutores | 5 |
| Quadro 2.4 – Valores Cpi consoante a direção do vento | 8 |
| Quadro 2.5 – Quadro resumo da ação do vento nas fachadas | 11 |
| Quadro 2.6 – Quadro resumo da ação do vento sem o cpi nas fachadas | 11 |
| Quadro 2.7 – Parâmetros definidores do espectro de resposta elástico | 12 |
| Quadro 2.8 – Apresentação da percentagem da massa mobilizada. | 14 |
| Quadro 3.1 – Recobrimento adotado | 18 |
| Quadro 3.2 – Verificação dos requisitos dos ELS | 19 |
| Quadro 3.3 – Características físicas das vigas | 24 |
| Quadro 3.4 – Deformações a curto e a longo prazo nos elementos mais solicitados..... | 25 |
| Quadro 3.5 – Tabela com os valores das cargas verticais para várias situações projeto | 29 |
| Quadro 3.6 – Verificação segurança em Pilares | 31 |
| Quadro 3.7 – Valores condicionantes dos esforços em pilares sem ter em conta os efeitos de 1ª Ordem | 32 |
| Quadro 3.8 – Valores condicionantes dos esforços nos pilares tendo em conta os efeitos das imperfeições geométricas | 32 |
| Quadro 3.9 – Soluções esquemáticas dos pilares | 34 |
| Quadro 3.10 – Valores condicionantes dos esforços nas vigas de fundação e consequente armadura | 40 |
| Quadro 3.11 – Quantidades de armadura obtida nos elementos, e obtida em bibliografia... | 41 |

| | |
|--|----|
| Quadro 3.12 – Área de envidraçados segundo as várias vertentes | 44 |
| Quadro 3.13 – Resumo da avaliação térmica da solução de betão armado..... | 44 |
| Quadro 3.14 – Orçamento criado a partir dos preços fornecidos pela empresa N.Projectos | 45 |
| Quadro 4.1 – Ações Permanentes em pavimentos interiores..... | 60 |
| Quadro 4.2 – Ações Permanentes em coberturas | 60 |
| Quadro 4.3 – Verificação de flechas | 63 |
| Quadro 4.4 – Área de envidraçados segundo as várias vertentes | 76 |
| Quadro 4.5 – Resumo da avaliação térmica da solução de Light Steel Framing..... | 76 |
| Quadro 4.6 – Quantidade de Material e preço | 77 |
| Quadro 5.1 – Tempo necessário para a construção da estrutura..... | 80 |
| Quadro 5.2 – Resumo dos Orçamentos..... | 80 |
| Quadro 5.3 – Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc} | 81 |
| Quadro 5.4 – Comparação de gastos iniciais e a longo prazo entre sistemas construtivos . | 83 |

Simbologia e Abreviaturas

Latinas Minúsculas

- a_c – valor da flecha a curto prazo [m]
 a_g – valor da aceleração à superfície do terreno [m/s^2]
 a_{gr} – valor de referencia da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A [m/s^2]
 a_t – valor da flecha a longo prazo [m]
 b – Base da edificação perpendicular à ação do vento [m]
 b - base da secção [m]
 b_w - largura nominal da viga [m]
 c' - coesão efetiva do terreno [rad]
 C_{dir} - coeficiente de direção [adimensional]
 $c_e(z)$ - coeficiente de exposição [adimensional]
 cl – percentagem de cloretos (%)
 $C_{o(z)}$ - coeficiente de orografia [adimensional]
 C_{pe} - coeficiente de pressão exterior [adimensional]
 C_{pi} - coeficiente de pressão interior [adimensional]
 $c_r(z)$ - coeficiente de rugosidade [adimensional]
 C_{season} - coeficiente de sazão [adimensional]
 d - altura útil da sapata [m]
 d – altura útil da seção [m]
 d – Base da edificação paralela à ação do vento [m]
 e – recobrimento mínimo das armaduras [m]
 f_{cd} - valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão [MPa]
 f_{ck} – valor característico da tensão de rotura à compressão aos 28 dias de idade [MPa]
 f_{ctm} - valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples [MPa]
 f_{yd} - valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço [MPa]
 f_{yk} - valor característico da tensão de cedência à tração do aço [MPa]
 f_{ywd} - valor de cálculo da tensão de rotura das armaduras de esforço transversal [MPa]
 h – altura do edifício [m]
 h - menor dimensão da secção do pilar [m]
 i - raio de giração [m]

I_c - momento de inércia da secção não fendilhada dos elementos de contraventamento [m⁴]

$I_{v(z)}$ - intensidade de turbulência do vento [adimensional]

l_0 - comprimento efetivo de elementos isolados [m]

n – valor esforço axial reduzido [adimensional]

n_s - número de pisos da estrutura [adimensional]

q' - carga efetiva ao nível da base da fundação [MPa]

q_b - pressão dinâmica de referência [MPa]

q_p - pressão dinâmica de pico [MPa]

s - espaçamento dos estribos [m]

v_b - valor de referência da velocidade do vento [km/h]

$v_{b,0}$ - valor básico da velocidade de referência do vento [km/h]

v_m - velocidade média do vento [km/h]

w_e - pressões exteriores provocadas pelo vento [MPa]

w_i - pressões interiores provocadas pelo vento [MPa]

z - altura útil da viga (0.9d) [m]

Latinas Maiúsculas

A – maior dimensão do painel de laje [m]

A' - área efetiva da sapata [m²]

A_c – área secção betão [m²]

A_s - área de armadura necessária [m²]

A_{sl} - armadura longitudinal presente na secção [m²]

A_{sw} - área da secção transversal das armaduras de esforço transversal [m²]

B - menor dimensão da sapata [m]

B – menor dimensão de painel de laje [m]

B' - menor dimensão efetiva da sapata [m]

E_{cd} - valor de cálculo do modulo de elasticidade do betão [MPa]

E_d – valor de cálculo do efeito das ações

N_A - limite máximo das necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias [kWh/m².ano]

N_{Ac} - necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias [kWh/m².ano]

- F_c - força de compressão no modelo de escoras e tirantes [kN]
- F_t - força de tração resultante da aplicação do modelo de escoras e tirantes [kN]
- $F_{V,Ed}$ - efeito da carga vertical total [kN]
- G – Ação permanente [kN/m³, kN/m², kN/m, kN]
- L - altura da estrutura acima da secção de encastramento [m]
- L - maior dimensão da sapata [m]
- L' - maior dimensão efetiva da sapata [m]
- LSF – *Light Steel Framing*
- M_{Ed} - momento fletor que resulta do efeito das ações [Nm]
- M_{Rd} - momento resistente [Nm]
- N_i - limite máximo de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]
- N_{ic} - necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m².ano]
- N_{Ed} – esforço axial que resulta do efeito das ações [N]
- N_t – limite máximo das necessidades nominais globais de energia primária [kWh/m².ano]
- N_{tc} – necessidades nominais globais de energia primária [kWh/m².ano]
- N_v – valor máximo de energia primária para arrefecimento [kWh/m².ano]
- N_{vc} - Necessidades nominais anuais de energia primária para arrefecimento [kWh/m².ano]
- OSB – *Oriented Strand Board*
- P_{cqp} - Carga que resulta da combinação quase permanente [variada]
- PP – Peso próprio [kN/m²]
- Q_a - Necessidades de nominais de energia primária para AQS [kWh/m².ano]
- RCP – Restantes cargas permanente [kN/m²]
- S – Coeficiente do solo [adimensional]
- SC – Sobrecarga de utilização [kN/m²]
- S_{max} – Máximo espectro de resposta elástico [m/s]
- T_B - Limite inferior do período no patamar de aceleração espectral constante [s]
- T_C – Limite superior do período no patamar de aceleração espectral constante [s]
- T_D - Valor que define no espectro o início do ramo de deslocamento constante [s]
- V_{Ed} - esforço transversal que resulta do efeito das ações atuantes [kN]
- $V_{Rd,c}$ - valor de cálculo do esforço transversal resistente do elemento sem armadura de esforço transversal [kN]

$V_{Rd,max}$ - valor de cálculo do esforço transversal resistente máximo [kN]

Z – Altura de referência [m]

Z_0 – comprimento de rugosidade [m]

Z_{min} – altura mínima [m]

Gregas Minúsculas

c_w - coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido [adimensional]

h - coeficiente de redução relativo ao comprimento ou altura total da construção [adimensional]

m - coeficiente relativo ao número de elementos carregados [adimensional]

γ - peso volúmico do solo [kN/m³]

c - coeficiente parcial relativo ao betão [adimensional]

- ângulo formado pela escora comprimida de betão [rad]

α_0 - valor básico da imperfeição [adimensional]

- esbelteza geométrica dos pilares [adimensional]

– Massa volúmica do ar [kg/m³]

- ângulo de atrito interno em tensões efetivas [rad]

- coeficiente de fluência [adimensional]

α_0 – Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma ação variável [adimensional]

α_1 - Coeficiente para a determinação do valor frequente de uma ação variável [adimensional]

α_2 - Coeficiente para a determinação do valor quase-permanente de uma ação variável [adimensional]

– percentagem mecânica de armadura necessária [adimensional]

Gregas Maiúsculas

α_1 – coeficiente parcial relativo à resistência por cedência no aço [adimensional]

G – coeficiente parcial relativo às ações permanentes [adimensional]

Q – coeficiente parcial relativo às ações variáveis [adimensional]

1. Introdução

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

O setor da construção civil busca incessantemente sistemas de construção cada vez mais industrializados e com menos desperdícios, com o intuito de a tornar mais económica e de otimizar a utilização e reutilização de recursos materiais, características que se inserem no novo paradigma da sociedade, e por consequência, do ramo da construção civil: a sustentabilidade na construção. Mais recentemente, em Portugal, surgiu uma solução construtiva baseada no “aço enformado a frio” ou (LSF) que pretende cumprir os requisitos acima referidos e como uma excelente alternativa à construção tradicional em alvenaria e betão armado.

As diferenças entre estes métodos são notórias nomeadamente as seguintes: a velocidade de construção é significativamente maior no sistema LSF retirando proveitos do menor tempo de mão-de-obra, é menor o tempo de espera do cliente, há diminuição dos desperdícios decorrentes da construção, pois o processo é industrialmente mais elaborado, e, por último existe uma maior preservação do meio ambiente através de uma construção parcial ou totalmente a seco.

O sistema LSF tem origem no fato dos elementos estruturais serem fabricados com recurso a chapas de aço que são dobradas, o que confere um aspeto mais leve e esbelto aos elementos estruturais principais.

O sistema requer um número elevado de elementos estruturais (perfis metálicos e placas OSB), o que possibilita uma maior eficácia na transmissão de cargas, traduzindo-se num peso final da estrutura por metro quadrado bastante inferior à solução de betão armado.

No presente trabalho dimensionaram-se dois edifícios com as mesmas características, um pelo sistema tradicional, ou seja, alvenaria e betão armado e o outro com recurso ao sistema LSF, para posteriormente serem comparados vários aspetos entre eles, dando naturalmente mais ênfase aos aspetos financeiros relacionados com a sustentabilidade da construção.

Devido ao tópico da sustentabilidade, que visa o custo a longo prazo e não só o investimento inicial, realizou-se uma análise térmica às duas soluções para aferir qual das duas seria mais eficiente termicamente e assim ser mais sustentável a longo prazo.

O objetivo desta dissertação é contribuir também para uma melhor difusão do sistema LSF que em Portugal ainda passa um pouco despercebido, sendo pouco utilizado, e por haver pouca informação sobre o mesmo, ainda suscita pouca confiança aos consumidores.

1.2. ORGANIZAÇÃO

O presente trabalho é composto por 7 capítulos e por x anexos que desenvolvem as várias etapas do estudo.

No capítulo, 1, é feito um enquadramento e uma apresentação sumária do trabalho que se irá apresentar ao longo da dissertação.

No capítulo 2 é apresentada a localização geográfica do edifício a ser construído bem como as ações relevantes a que a estrutura está sujeita e para qual é dimensionada, que são as ações permanentes, variáveis, sobrecargas, ação do vento e ação sísmica.

No capítulo 3 é efetuada a modelação do edifício de betão armado com recurso ao programa de elementos finitos SAP2000 V.17, com aplicação da legislação europeia EN NP 1992. Neste capítulo procede-se também à realização do mapa de medições e orçamentos para se apresentar um preço final da estrutura para futura comparação e análise, e ainda à avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético do edifício, de acordo com o REH (DL nº 118/2013).

No capítulo 4 é efetuada a modelação do edifício em *Light Steel Framing*, recorre-se ao método prescritivo, para o seu dimensionamento procede-se à realização do mapa de medições e orçamentos para se apresentar um preço final da estrutura para futura comparação e análise, e avalia-se o comportamento térmico e do desempenho energético do edifício, de acordo com o REH (DL nº 118/2013).

No capítulo 5 é realizada a comparação entre estes dois métodos sendo os critérios para tal comparação, o custo inicial da construção e a eficiência energética e o custo associado a tal.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste estudo onde são realçados os aspetos mais importantes e relevantes deste estudo e apontando para desenvolvimentos que poderão ter continuidade no futuro.

No capítulo 7 são apresentadas as referências bibliográficas que estabeleceram os princípios do presente trabalho.

2 CONSTRUÇÃO EM BETÃO ARMADO E ALVENARIA

2.1 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

As ações que atuam sobre a estrutura respeitam as seguintes normas:

- NP EN 1991-1-1- Ações atuantes em estruturas (peso próprio e sobrecargas de exploração)
- NP EN 1991-1-3- Ação da neve em estruturas
- NP EN 1991-1-4- Ação do vento em estruturas
- NP EN 1991-1-5- Ação de variação de temperatura em estruturas
- NP EN 1998-1- Ação de sismos em estruturas.

2.1.1 AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes na estrutura são o resultado da soma do peso próprio (P.P) da estrutura e das restantes cargas permanentes (R.C.P). O peso próprio corresponde ao peso dos materiais estruturais do edifício (betão, aço, perfis metálicos e placas OSB), enquanto as restantes cargas permanentes resultam dos materiais que embora não façam parte integrante da estrutura, complementam a estrutura e como tal têm igualmente de ser contabilizados, estando resumidos no Quadro 1.

Quadro 2.1 – Ações que atuam na laje de piso

| Material | Espessura [m] | Peso Volúmico [kN/m ³] | P.P [kN/m ²] | RCP [kN/m ²] |
|---------------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Laje de Betão armado | 0,15 | 25 | 3,75 | - |
| Betão leve com argila expandida | 0,17 | 12 | - | 2,04 |
| Ladrilho cerâmico | 0,03 | 0,7 | - | 0,7 |
| Total | | | 3,75 | 2,74 |

Quadro 2.2 – Ações que atuam na laje de cobertura

| Materiais | Espessura [m] | Peso Volúmico [kN/m ³] | P.P [kN/m ²] | RCP [kN/m ²] |
|--|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Laje de Betão armado | 0,15 | 25,0 | 3,75 | - |
| Betão leve com argila expandida e tela impermeabilizante | 0,17 | | - | 2,0 |
| Telha Lusa | | 0,7 | - | 1,0 |
| Total | | | 3,75 | 3,0 |

2.1.2 AÇÕES VARIÁVEIS

As ações variáveis são aquelas cuja variação de intensidade no tempo não é desprezável, como sejam, as sobrecargas nos pavimentos e coberturas do edifício, a ação do vento. A ação sísmica, é tratada como ação variável, embora não o seja porque não existe a sua distribuição estatística no tempo de vida da estrutura.

2.1.3 AÇÃO VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

A variação de temperatura não tem relevo para o cálculo dos esforços, do edifício de betão armado, uma vez que o edifício em estudo é de pequena envergadura. No entanto para o edifício de LSF, sendo composto por perfis metálicos, esta ação será relevante, embora tratando-se de um edifício de pequena envergadura e por se encontrar completamente isolado, esta ação não será a condicionante.

2.1.4 SOBRECARGAS

O edifício destina-se à habitação, correspondendo portanto a uma utilização da categoria A, de acordo com o Quadro 6.1 da NP EN 1991-1-1. Assim sendo, as sobrecargas das lajes são as apresentadas no Quadro 3, valores retirados do Quadro 6.2, da NP EN 1991-1-1.

Quadro 2.3 – Resumo das sobrecargas, cargas aplicadas, e coeficientes redutores

| Utilização do piso | Sobrecargas [kN/m ²] | Cargas Permanentes [kN/m ²] | Coeficientes redutores | | |
|--------------------|----------------------------------|---|------------------------|----|----|
| | | | 0, | 1, | 2. |
| Habitação | 2,0 | 2,74 | 0,7; 0,5; 0,3 | | |
| Cobertura | 0,4 | 3,00 | | | |

2.1.5 AÇÃO DO VENTO

A quantificação da ação do vento foi realizada de acordo com a NP EN 1991-1-4 (EC4-1-4) e por isso todas as referências desta secção referem-se a esta norma. Para as fachadas admitiu-se a direção do vento S-N (perpendicular à fachada principal). Visto que o edifício em análise está confinado a Este e a Oeste não se considerou esta direção. As condições de base são: que o se edifício localiza em Santa Barbara de Nexe, em zona suburbana, e o terreno é plano. O procedimento utilizado para a determinação da ação do vento segue o Quadro 5.1 da presente norma do qual apenas interessam as duas partes seguintes:

(I) Pressão dinâmica de pico, q_p , e,

(II) Pressões exercidas pelo vento.

Apresentam-se passo a passo e de forma pormenorizada os procedimentos do cálculo referido, apenas para a ação do vento de Sul-Norte. No que que respeita ao sentido inverso, Norte-Sul, mostram-se apenas os resultados.

-valor de referência da velocidade do vento; v_b :

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (2.1)$$

onde, c_{dir} , é o coeficiente de direção que segundo a nota 2, da cláusula 4.2(2)P, se recomenda igual a 1.0, c_{season} , é o coeficiente de sazão que de acordo com a nota 3 da clausula acima indicada é 1.0, e $v_{b,0}$ é o valor básico da velocidade de referência do vento, que toma o valor de 27 m/s, de acordo com o quadro NA-I, visto o edifício estar exposto na zona geográfica A. Logo o valor da velocidade do vento é de 27m/s.

-Altura de referência, Z. Tanto para as paredes como para a cobertura a altura de referência é conservativamente de 8,06 metros De de acordo com 7.2.9(7) a altura de referência z_i deverá ser igual à z_e .

-O terreno, segundo o Quadro NA-4.1 é da categoria II, de características, $z_0 = 0,05$ m e de $z_{min} = 3$ m;

- Valor característico da pressão dinâmica de pico q_p (§ 4.5)

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (2.2)$$

em que, $c_e(z)$ é o coeficiente de exposição calculado segundo a expressão:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} \quad (2.3)$$

onde q_b é a pressão dinâmica de referência, dada pela expressão:

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \quad (2.4)$$

onde, ρ é a massa volúmica do ar.

A massa volúmica do ar, ρ , depende da altitude, temperatura e pressão atmosférica previstas para a região durante situações de vento intenso.

É também quantificada a intensidade de turbulência $I_v(z)$ do vento na expressão (2.5):

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad (2.5)$$

e a velocidade média, v_m :

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (2.6)$$

necessárias para a determinação da pressão dinâmica de pico:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Em (2.6) o coeficiente de rugosidade, $C_r(z)$, é dado pela equação (2.7).

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2.7)$$

O coeficiente de orografia $C_o(z)$ patente na expressão (2.6) depende da evolução do terreno na proximidade da construção e é quantificado de acordo com o anexo A.3 da norma NP EN 1991-1-4.

No caso particular desta dissertação, o terreno é plano nos arredores da construção pelo que o coeficiente de orografia $C_o(z) = 1$.

A pressão exercida pelo vento em superfícies e perpendicularmente às mesmas é obtida através da seguinte expressão:

$$\vec{w} = \vec{w}_e + \vec{w}_i \quad (2.8)$$

que é a soma vetorial das pressões exteriores e interiores definidas como o produto da pressão dinâmica de pico pelos coeficientes aerodinâmicos C_{pe} e C_{pi} . O primeiro depende da forma da construção e é lido de tabelas adequadas das secções 7 da EN NP 1991-1-4. O segundo está relacionado com a facilidade da circulação do ar no

interior da construção e permeabilidade das suas faces (paredes e cobertura) também definido na secção 7.2.9 da mesma norma.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (2.9)$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (2.10)$$

2.1.5.1 COEFICIENTE DE PRESSÃO EXTERIOR, $C_{pe,10}$ §7.2.2

$b=8,5m$; $d=12,6m$; $h=8,06m$

$$e = \min \begin{cases} b = 8,6m \\ 2h = 16,12m \end{cases} = 8,6m$$

Como $e < d$ e o edifício se encontra confinado lateralmente por outros edifícios, de acordo com a Figura 7.5 da NP EN 1991-1-4, obtém-se os coeficientes de pressão exterior para as duas zonas em questão, de acordo com o quadro 7.1:

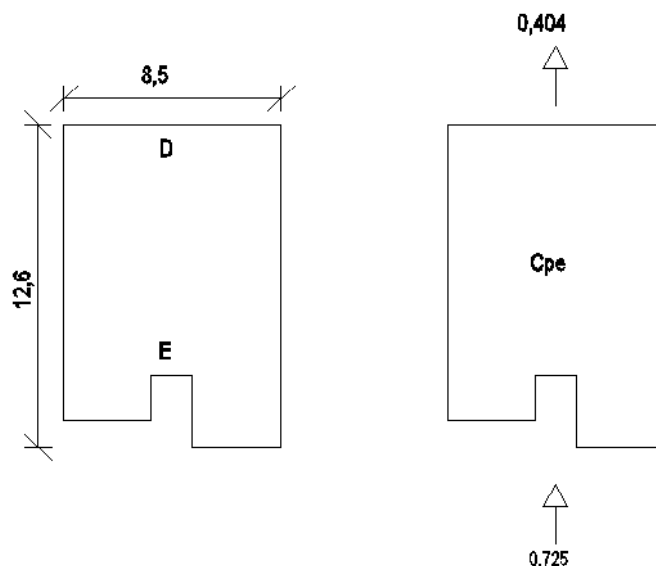


Figura 2.1-Fachadas ao vento e valores dos coeficientes de pressões externas

2.1.5.2 COEFICIENTE DE PRESSÃO INTERIOR, $C_{pi}(z)$ (7.2.9)

Para o cálculo do C_{pi} foi necessário fazer uma avaliação da área das aberturas em fachadas em que o C_{pe} é negativo, e que depende naturalmente da orientação da incidência do vento, conforme a expressão 7.3 do EC4.

$$\mu = \frac{\sum \text{área das aberturas em que } c_{pe} \text{ é negativo ou } -0,0}{\sum \text{área de todas as aberturas}}$$

Figura 2.2- Calculo do parâmetro μ

$A_2 = 13.6\text{m}^2$ (Área total de aberturas em que C_{Pe} é negativo)

$A_1=10.4+13.6 \text{ m}^2=24\text{m}^2$ (Área total de aberturas)

$$\mu = \frac{13.6}{24} = 0.5667$$

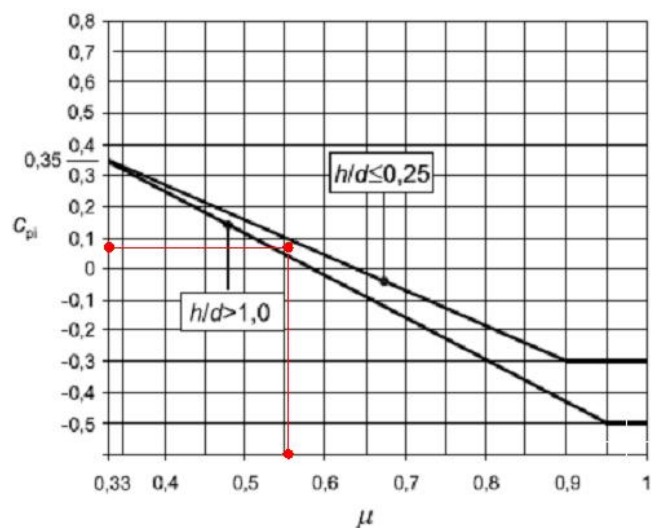


Figura 2.3- Âbaco que relaciona o parâmetro c_{pi} em relação aos valores de μ (Figura 7.13 EC1991-1-4)

Assim segundo a Figura 2.3 o C_{pi} a considerar na situação do vento Norte-Sul, é de 0,074. Para a situação de vento de Sul-Norte o valor de C_{pi} toma o valor de -0,12, como se verifica no Quadro seguinte.

Quadro 2.4- Valores C_{pi} consoante a direção do vento

| Incidência Vento | C_{pi} |
|------------------|----------|
| Norte-Sul | 0,074 |
| Sul-Norte | -0,12 |

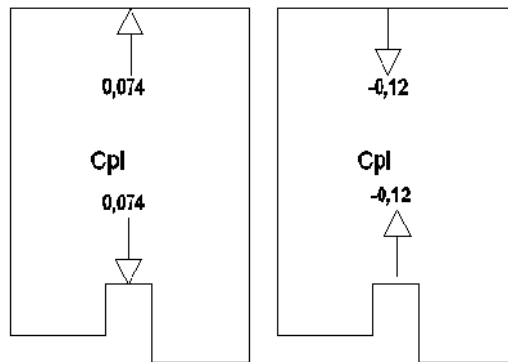


Figura 2.4- Valores de C_{pi} com o vento Sul-Norte e Norte – Sul respectivamente

Por soma vetorial dos coeficientes de pressão interior e exterior obtém-se o valor da pressão resultante c_p :

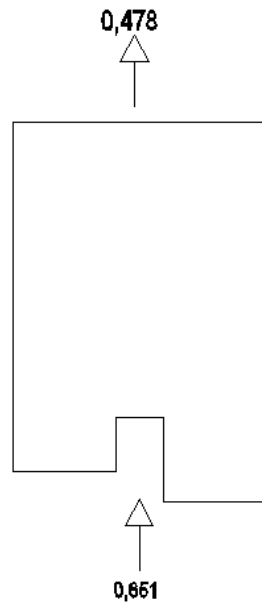


Figura 2.5- Resultante de pressões

Que multiplicados pela pressão dinâmica de pico resulta na pressão do vento sobre as paredes da casa como mostra na figura 2.6:

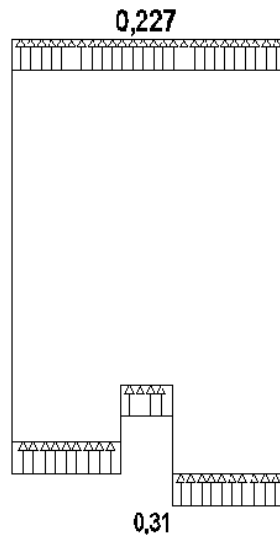


Figura 2.6- Pressão Vento Sul - Norte nas fachadas

Para o vento Norte – Sul, apresentam-se apenas os resultados finais, na figura 2.7.

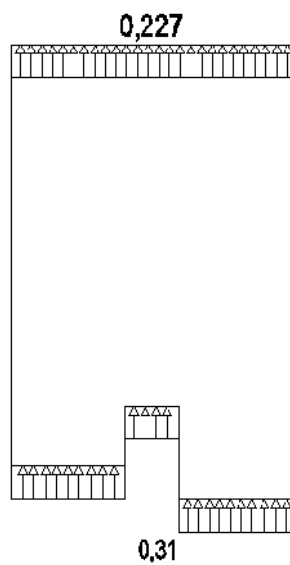


Figura 2.7 - Valores das pressões para o vento Norte – Sul

2.1.5.3 PRESSÃO TOTAL

Quadro 2.5 Quadro resumo da ação do vento nas fachadas

| Direção do vento | C_{pe} | C_{pe} | C_{pi} | C_{pi} | Total | Total | Pressão | Pressão |
|------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Vertente Norte | Vertente Sul | Vertente Norte | Vertente Sul | Vertente Norte | Vertente Sul | Vertente Norte | Vertente Sul |
| Sul-Norte | 0,404 | -0,725 | 0,074 | 0,074 | 0,478 | -0,651 | 0,227 | - 0,31 |
| Norte-Sul | -0,725 | 0,404 | -0,12 | -0,12 | -0,845 | 0,284 | -0,40 | 0,13 |

Quadro 2.6 Quadro resumo da ação do vento sem o c_{pi} nas fachadas

| Direção do vento | C_{pe} Vertente Norte | C_{pe} Vertente Sul | Total Vertente Norte | Pressão Norte | Total Vertente Sul | Pressão Sul |
|------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|---------------|--------------------|-------------|
| Sul-Norte | 0,404 | -0,725 | 0,19 | -0,34 | | |
| Norte-Sul | -0,725 | 0,404 | -0,34 | 0,19 | | |

2.1.6 AÇÃO SÍSMICA

Na análise sísmica, deve-se ter em atenção os valores característicos a considerar, pois estes dependem da localização do edifício e da natureza do terreno.

O edifício situa-se em Santa Bárbara de Nexe, que corresponde às zonas sísmicas 1.2, para o sismo afastado, e 2.3, para o sismo próximo. Após o estudo geológico do terreno conclui-se que se trata de um solo tipo B.

2.1.6.1 DETERMINAÇÃO DA CLASSE DE IMPORTÂNCIA

Segundo a NP EN 1998-1 2010, §4.2.5 a classe de importância para um edifício corrente é II pelo que $\gamma = 1.0$.

2.1.6.2 DETERMINAÇÃO DA ZONA SÍSMICA

Segundo o Anexo Nacional NA.I da NP EN 1998-1 2010, Santa Bárbara de Nexe situa-se numa zona sísmica: Tipo 1=1.2 e do Tipo 2=2.3, como se pode ver na figura 2.6, que representa a NA.I do EC8, pelo que as acelerações máximas de referencia são:

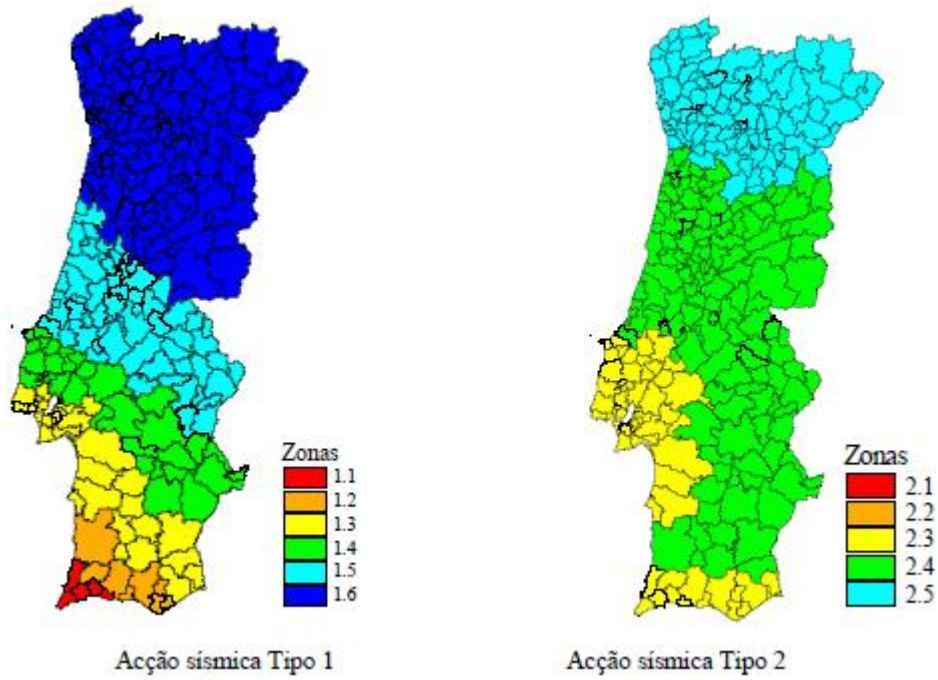


Figura 2.8- Zonamento sísmico em Portugal

$$\text{Sismo tipo 1} = 1,2 \quad a_{gr} = 2,0 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Sismo tipo 2} = 2,3 \quad a_{gr} = 1,7 \text{ m/s}^2$$

2.1.6.3 CÁLCULO DO VALOR DA ACELERAÇÃO À SUPERFÍCIE DO TERRENO

$$a_g = I \times a_{gr} \begin{cases} 1,00 \times 2,00 = 2,00 \text{ m/s}^2 \\ 1,00 \times 1,70 = 1,70 \text{ m/s}^2 \end{cases} \quad (2.13)$$

O edifício situa-se num terreno com solo tipo B, pelo que os parâmetros que caracterizam o espectro de resposta elástico são apresentados no quadro 2.7.

Quadro 2.7- Parâmetros definidores do espectro de resposta elástico

| Sismo | S_{max} | T_b (s) | T_c (s) | T_d (s) |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Tipo 1 | 1,35 | 0,1 | 0,6 | 2,0 |
| Tipo 2 | 1,35 | 0,1 | 0,25 | 2,0 |

2.1.6.4 ESPECTROS DE RESPOSTA

O espectro de resposta relaciona (nas ordenadas) as acelerações máximas de um oscilador com um grau de liberdade em função do seu período fundamental (no eixo das abcissas) quando sujeito às ações sísmicas típicas do local onde se pretende edificar certa construção. Em Portugal como há dois sismos padrão resultam dois espectros de resposta distintos. As acelerações máximas retiradas do espectro, para serem usadas na análise sísmica do edifício, irão ser tantas quanto os modos de vibração mínimo necessário para numa análise modal sendo que os seus valores dependem dos períodos de cada modo de vibração da estrutura. O número de modos a considerar na análise (elástica) deve perfazer 95% da participação das massas a eles associadas. As figuras seguintes representam os espectros de resposta para o sismo Tipo 1 e Sismo Tipo 2 tendo em conta o zonamento da construção e características do solo e foram gerados pelo programa EC8Spec 2.01 [Estêvão, J. Espectros de resposta- NP EN 1998-1_2010 – Versão Beta2.01].

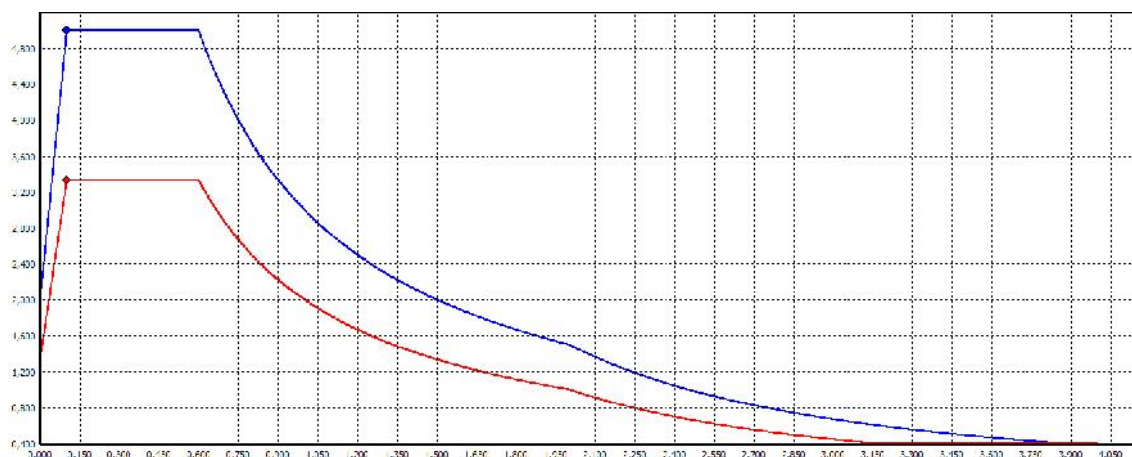


Figura 2.9- Espectro de resposta obtido para o sismo Tipo 1

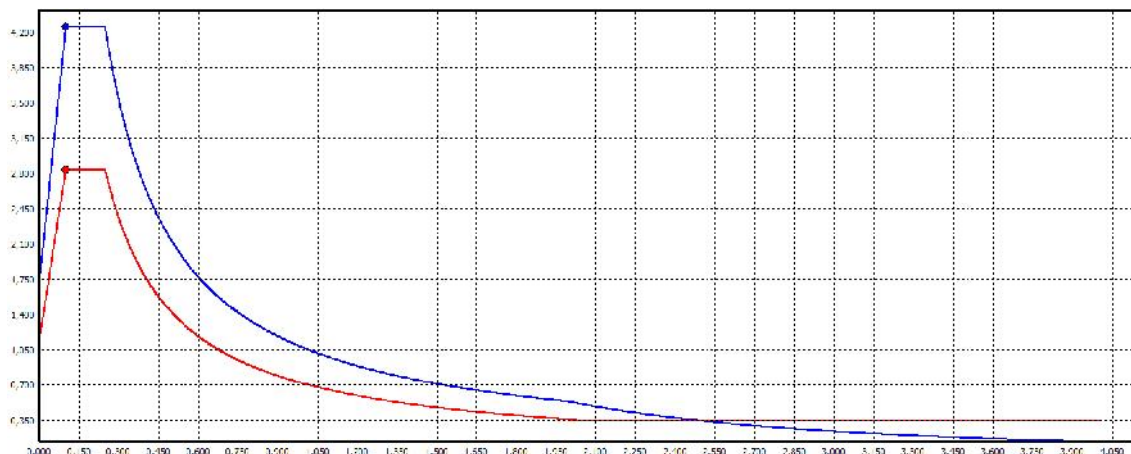


Figura 2.10- Espectro de resposta obtido para o sismo Tipo 2

2.1.6.5 CÁLCULO DO PARÂMETRO S

Para 1 m/s^2 a_g 4 m/s^2

- Sismo Tipo 1

$$S = S_{\max} - \frac{S_{\max} - 1}{3} \times (a_g - 1) = 1,35 - \frac{1,35 - 1}{3} \times (2,00 - 1)$$

$$S = 1.175$$

- Sismo Tipo 2

$$S = S_{\max} - \frac{S_{\max} - 1}{3} \times (a_g - 1) = 1,35 - \frac{1,35 - 1}{3} \times (1,70 - 1)$$

$$S = 1.228$$

Apresenta-se de seguida o Quadro 1.9 que demonstra a massa mobilizada da estrutura em cada modo de vibração.

Quadro 2.8 – Apresentação da percentagem da massa mobilizada.

| Modo de vibração | Percentagem da massa mobilizada na direção XX | Percentagem da massa mobilizada na direção YY |
|------------------|---|---|
| 1 | 0,7893 | 0,0056 |
| 2 | 0,80967 | 0,82958 |
| 3 | 0,88679 | 0,88295 |
| 4 | 0,88686 | 0,88321 |
| 5 | 0,88697 | 0,88326 |
| 6 | 0,88703 | 0,8838 |
| 7 | 0,88707 | 0,8838 |
| 8 | 0,88718 | 0,98456 |
| 9 | 0,97517 | 0,98459 |
| 10 | 0,9779 | 0,98474 |
| 11 | 0,97828 | 0,98476 |
| 12 | 0,97829 | 0,98482 |

Da análise modal obtêm-se esforços que fazem parte da combinação fundamental “sismo” para a situação de projeto sísmica. Os esforços combinados servirão para o dimensionamento dos elementos estruturais que foram escolhidos como os relevantes para o dimensionamento da estrutura.

2.1.6.6 REGULARIDADE EM ALTURA

Para se verificar a regularidade em altura, analisou-se a §4.2.3.3 e a Figura 4.1 critério c), e critério d) em que:

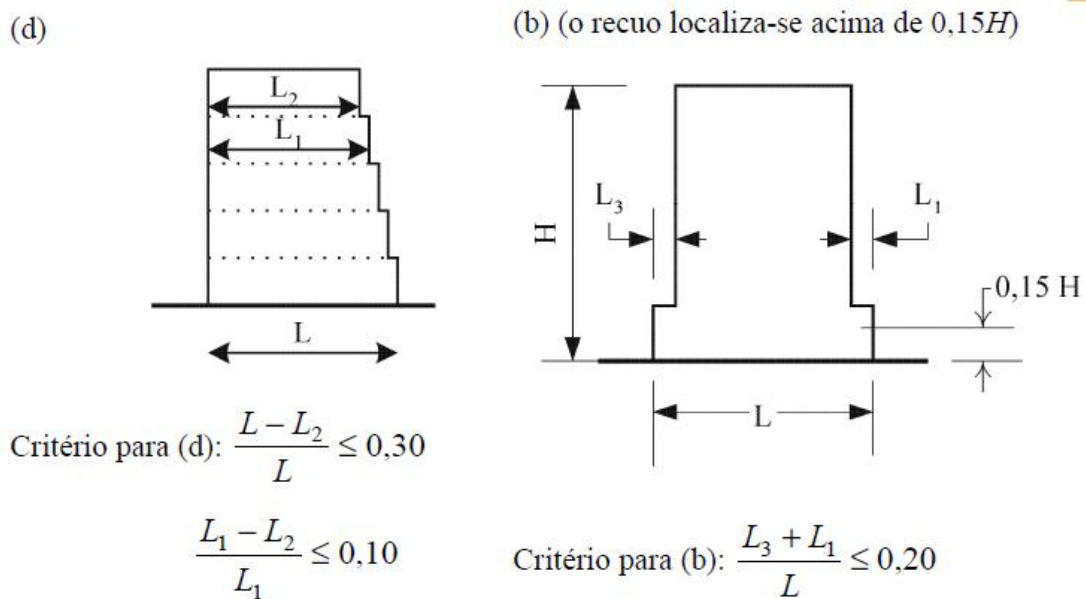


Figura 2.11- Critérios de regularidade em altura de edifícios

critério d)

como o edifício tem de altura 7,8 m e o recuo se dá aos 2,6 m ou seja o recuo dá-se acima de $0,15 H$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,30 = \frac{8,6 - 8,6}{8,6} = 0 \leq 0,3 \quad \text{Verifica a condição}$$

Critério b)

$$\frac{L_3 - L_1}{L} \leq 0,20 = \frac{1+1}{13,6} = 0,15 \leq 0,20 \quad \text{Verifica a condição} \quad (2.15)$$

Verificando-se as condições acima descritas o edifício é classificado como regular em altura.

2.2 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

De acordo com a NP EN 1990 é necessário combinar as ações permanentes com as ações variáveis e de acordo com as regras do Método dos Coeficientes Parciais de Segurança, para se proceder seguidamente à verificação dos estados limites últimos e estados limites de utilização.

2.2.1 SITUAÇÕES DE PROJETO E ESTADOS LIMITES

O Método dos Coeficientes Parciais de Segurança indica que para a *Situação de Projeto Persistente* devem cumprir-se os requisitos dos *Estados Limites Últimos* (ELU) e de Estados Limite de Utilização (SLS).

No que respeita aos ELU realizam-se as seguintes combinações fundamentais de ações:

$$E_d = \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q_{k,i} \quad (2.16)$$

Para a situação de projeto sísmico deve-se cumprir a combinação sísmica de ações:

$$E_d = G_{k,j} + A_{Ed} + \gamma_{2,i} Q_{k,i} \quad (2.17)$$

nos ELU, e para os Estados Limites de Serviço deve cumprir-se os Estados Limites de Serviço por Limitação de Danos, que são satisfeitos controlando o deslocamento relativo entre pisos presente em §4.4.3.2- EC8.

No caso do projeto geotécnico recorre-se à combinação para estados limites últimos da situação de projeto persistente fazendo-se a verificação do solo à rotura.

Para o Estado Limite de Serviço (SLS) por deformação excessiva de painéis de laje e vigas cumprem-se as alturas mínimas para estes elementos de modo a garantir indiretamente deste estado limite segundo §7.3.3 (1) - EC2.

No caso dos Estados Limites de Serviço por Fendilhação Excessiva é garantido através da cláusula §7.3.3 (2) - EC2.

3. ESTRUTURA BETÃO ARMADO

3.1- DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

Situações de Projeto

As situações de projeto consideradas neste trabalho são as seguintes:

- Permanentes
 - Estados Limites Últimos (ELU)
 - Estados Limites Utilização (ELS)
- Sísmicas
 - Estados Limites Últimos (ELU)
 - Estados Limites de Limitação de Danos (ELLD)

3.1.1 Recobrimento das Armaduras

O recobrimento das armaduras é a distância que entre a superfície da armadura e a superfície e desempenha [4.4.1.1 (1) NP EN 1992-1-1] as seguintes funções:

- Mecânica: Destina-se a garantir que há betão suficiente a envolver a armadura, e assim garantir a sua aderência para que se verifique uma eficiente transmissão de forças entre o aço e o betão. ($c > c_{eq}$).
- Proteção: É sua função proteger contra a entrada dos agentes agressivos e consequentemente contra a corrosão das armaduras (recobrimento definido em função da agressividade do ambiente de exposição).

Assim de acordo com o EC 2, e para cada um das classes de exposição e para um projeto com tempo de vida útil de 50 anos adotaram-se os seguintes recobrimentos:

Quadro 3.1- Recobrimento adotado

| | Classe de exposição | Recobrimento [mm] | Slump | CL(%) |
|---------|---------------------|----------------------|-------|-------|
| Vigas | XC3 | 25 | S3 | 0.2 |
| Pilares | XC3 | 25 | S3 | 0.2 |
| Sapatas | XC2 | 30 | S3 | 0.2 |

3.2 Verificação de Segurança aos Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização em Lajes.

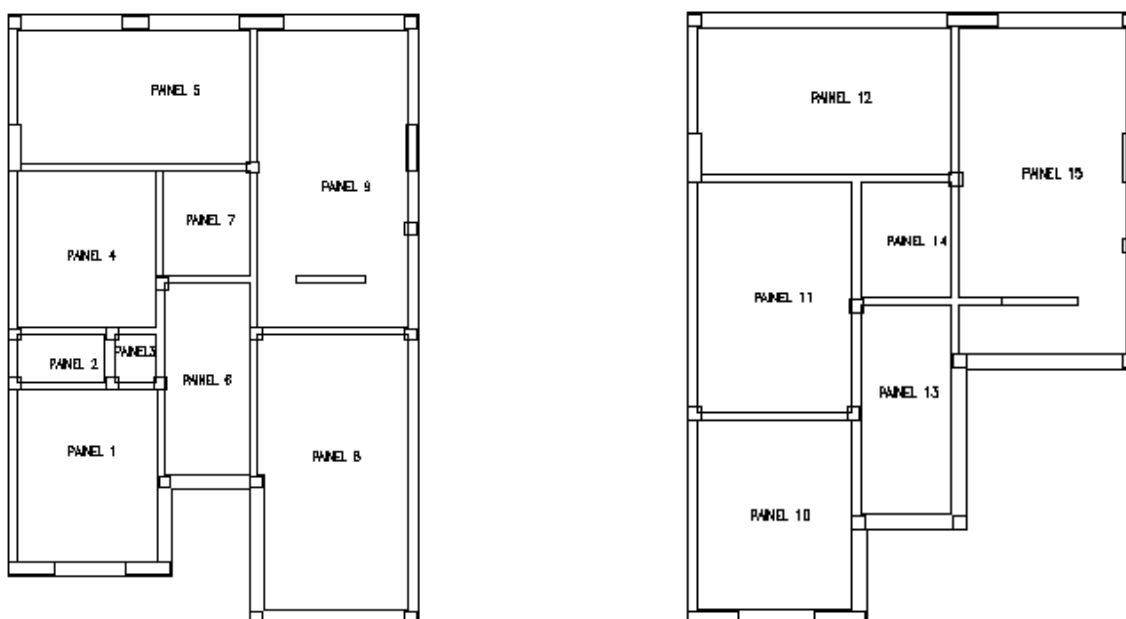


Figura 3.1 Disposição dos painéis de laje no teto do rés-do-chão e teto do 1º andar

3.2.1 Verificação de Segurança de lajes aos estados limites de utilização por deformação.

No pré dimensionamento como limitação da deformação admitiu-se que a flecha a longo prazo não deverá ultrapassar o valor de $V\ddot{a}o/500$, de acordo com 7.4.1(5) da NP EN 1992-1-1, para as ações quase-permanentes.

Cálculo da combinação quase permanente para a laje de piso.

$$P_{cqp} = PP + RCP + 0.3 \times SC \quad (3.1)$$

$$P_{cqp} = 3.75 + 2.74 + 0.3 \times 2 = 7.09 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2)$$

Na tabela 3.2 estão as verificações efetuadas em que as grandezas A e B são os respectivos comprimentos dos painéis de lajes, a relação entre painéis A/B indica se o painel é armado em uma direção ou em duas direções, a grandeza a_c representa o valor da flecha a curto prazo e a grandeza a_t representa o valor da flecha a longo prazo.

Quadro 3.1- Verificação dos requisitos dos ELS

| Painel | A [m] | B [m] | A/B | a_c [m] | a_t [m] | L/500 [m] | Verificação |
|--------|-------|-------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 2 | 1,8 | 1 | 1,8 | 0,00270 | 0,01350 | 3,6 | Verifica |
| 3 | 0,85 | 1 | 0,85 | 0,01960 | 0,09800 | 2 | Verifica |
| 7 | 1,8 | 2,18 | 0,825688 | 0,02100 | 0,10500 | 4,36 | Verifica |
| 14 | 1,7 | 2,18 | 0,779817 | 0,02140 | 0,10700 | 4,36 | Verifica |

3.2.2 Verificação de Segurança de lajes aos estados limites últimos de resistência à flexão.

Fez-se o pré-dimensionamento das lajes que consistiu em determinar a altura útil que cumprisse o artigo § 7.4.2 do EC2, que de forma indireta garante a verificação aos estados limites de deformação, ou seja, para $\epsilon = 0 = 1.5\%$, vem:

$$\frac{l}{d} = 1.3 * \left[1 + 1.5 * \sqrt{f_{ck}} + 0 \right] = \frac{1}{24.05} = 0.042 . \quad (3.3)$$

| Sistema estrutural | K | Betão fortemente solicitado $\rho = 1,5 \%$ | Betão levemente solicitado $\rho = 0,5 \%$ |
|---|-----|--|---|
| Viga simplesmente apoiada, laje simplesmente apoiada armada numa ou em duas direcções | 1,0 | 14 | 20 |
| Vão extremo de uma viga contínua ou de uma laje contínua armada numa direcção ou de uma laje armada em duas direcções contínua ao longo do lado maior | 1,3 | 18 | 26 |
| Vão interior de uma viga ou de uma laje armada numa ou em duas direcções | 1,5 | 20 | 30 |
| Laje sem vigas apoiada sobre pilares (laje fungiforme) (em relação ao maior vão) | 1,2 | 17 | 24 |
| Consola | 0,4 | 6 | 8 |

NOTA 1: Em geral, os valores indicados são conservativos, e o cálculo poderá frequentemente revelar que é possível utilizar elementos mais esbeltos.

NOTA 2: Para lajes armadas em duas direcções, a verificação deverá ser efectuada em relação ao menor vão. Para lajes fungiformes deverá considerar-se o maior vão.

NOTA 3: Os limites indicados para lajes fungiformes correspondem, para a flecha a meio vão, a uma limitação menos exigente do que a de vão/250. A experiência demonstrou que estes limites são satisfatórios.

Figura 3.2- Fator K de usado para o pré-dimensionamento de lajes

Em exemplo para um vão de $L_{\text{menor}} \times L_{\text{maior}} = 3,15 \times 6,15$ m resulta uma altura útil mínima de $d = 0,04$ m. No caso presente adotou-se $d = 0,17$ m de altura útil que para um vão principal de 3,0 m conduz a uma quantidade de armadura moderada. Assim a altura total dos painéis de laje é $h = d + 0,025 = 0,21$ m.

De seguida quantificam-se os esforços positivos e negativos em cada painel com recurso por exemplo às tabelas de J. Barès ou de [Tabelas de dimensionamento Betão Armado, 1993] e equilibram-se os momentos nos apoios e indiretamente no vão.

Finalmente quantificam-se as armaduras longitudinais de cada secção crítica (de máximos esforços), obtidas tabelas para betão armado em função dos esforços reduzidos, classe resistência do betão e do aço, como se explica. Determina-se o momento fletor reduzido μ :

$$\mu = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 f_{cd}} \quad (3.4)$$

do momento atuante M_{sd} , sendo b é a base da secção, d a altura útil da secção e f_{cd} o valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão. Com recurso à tabela determina-se a percentagem de armadura necessária, ρ ,

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{b \cdot d f_{cd}} \quad (3.5)$$

e finalmente A_s , a área de armadura necessária. (f_{yd} é o valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço). Apresentam-se as plantas do edifício com os esforços compatibilizados.

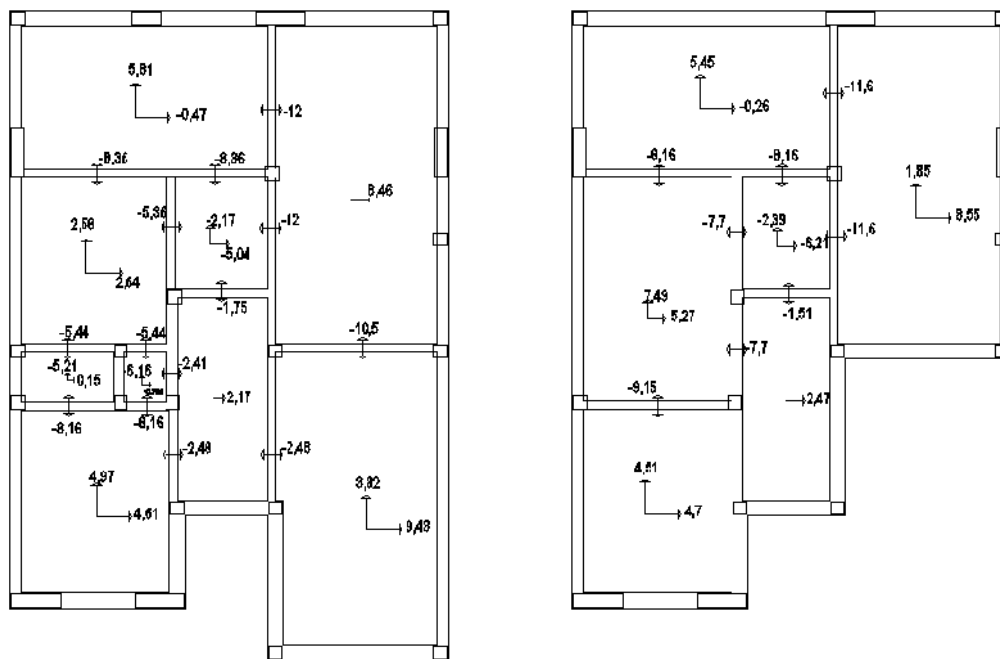


Figura 3.3- Plantas do Rés-do-chão e 1º andar com esforços

3.3 Armadura Principal Mínima e Máxima

A armadura principal e de distribuição deve cumprir o valor mínimo da igualdade (3.6):

$$A_{s,\min} \geq b_t \times d \times \max \begin{cases} 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \\ 0.0013 \end{cases} \quad (3.6)$$

sendo f_{ctm} o valor médio da tensão de rotura do betão à tração simples e f_{yk} é o valor característico da tensão de cedência à do aço.

3.3.1 Armaduras de distribuição em lajes

A armadura de distribuição deve ser disposta transversalmente às armaduras principais e deverá ter uma área de armadura de pelo menos 20% da área da armadura principal aí existente. Nas lajes armadas em duas direções não é necessário colocar armadura de distribuição, pois esta coincide com a armadura principal na direção oposta.

3.3.2 Espaçamento máximo dos varões da armadura principal

Para a armadura principal é necessário cumprir as seguintes disposições construtivas (§9.3.1.1(3) da NP EN 1992-1-1,) que determinam a maior quantidade da armadura a ser medida na laje:

- Armaduras principais – 2h 250mm
- Armaduras de distribuição – 3h 400mm

No entanto, para as armaduras de distribuição, adotou-se o mesmo espaçamento das armaduras principais, por razões de segurança.

3.3.3 Armadura de bordo simplesmente apoiado

Segundo a NP EN 1992-1-1, na §9.3.1.2(2) para a armadura de bordo simplesmente apoiado tem de se garantir a seguinte condição:

$$A_s/s \geq \begin{cases} A_{s\min} \\ 0.25 \times A_s^+ \end{cases} \quad (3.7)$$

A sua armadura de distribuição deverá satisfazer a seguinte especificação, $A_{s\text{dis}} = 0,20 A_s/s$, e a armadura de bordo simplesmente apoiado é garantida pela armadura principal colocada.

3.3.4 Armadura de canto

Para conseguir equilibrar os momentos torsores internos que surgem nos cantos das lajes devido às ações é necessário a colocação de uma armadura de canto. Estes esforços torsores são mais gravosos nas zonas de canto com dois bordos adjacentes simplesmente apoiados. Em lajes “armadas” numa direção deve-se garantir-se como armadura de canto 50% da armadura máxima colocada na laje, e colocados na face superior e inferior. No caso de lajes “armadas” em duas direções é necessário garantir uma quantidade de armadura equivalente à armadura principal adotada, também colocada superiormente e inferiormente sendo que, na

face superior, se armadura de flexão a momentos negativos, se for suficiente não será precisa a armadura específica para a torsão.

3.4 Verificação de Segurança aos Estados Limites de Resistência por corte em lajes.

Na determinação do esforço transversal nas lajes, definiram-se as linhas de rotura positivas, que simplificada determinam a distribuição de carga das lajes e para as vigas. Como o dimensionamento ao corte em lajes não condiciona em geral a definição da sua espessura procuraremos o painel de maior esforço transversal. Sabendo que o maior esforço transversal de todos os painéis ocorre no painel de maior largura, definida esta como a menor dimensão do painel, adotou-se o valor desse esforço transversal para esta verificação segurança ao corte na laje.

A figura 3.4 apresenta as linhas de rotura e as larguras referidas.

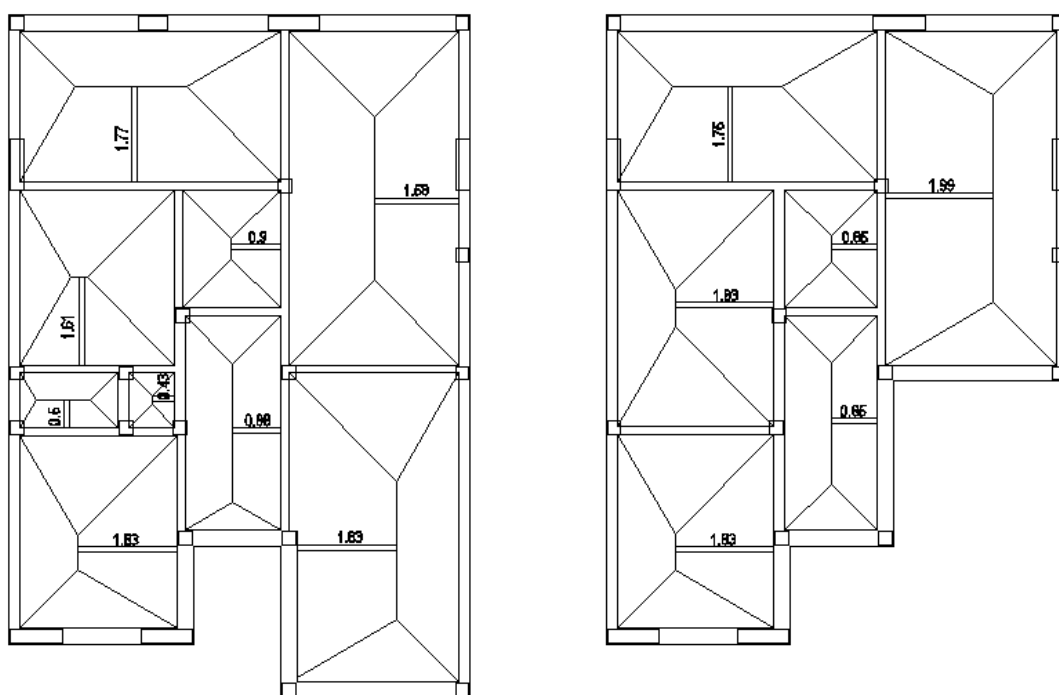


Figura 3.4- Linhas de rotura e distâncias ao bordo da laje

Em seguida procedeu-se à verificação da §6.2.2 do EC2 que indica quais os painéis de laje para os quais não é requerida armadura de esforço transversal como indica a inequação seguinte:

$$V_{c,Rd} > V_{Ed} \quad (3.8)$$

onde,

$$V_{Ed} = \chi \times q_{Ed} \text{laje} \quad (3.9)$$

$$V_{Rd,c} = b \times d \times \max \left\{ \begin{array}{l} c_{rdc} \times k \times \sqrt[3]{100 \times \rho \times f_{ck}} \\ 0.0035 \times \sqrt{k^3 \times f_{ck}} \end{array} \right. \quad (3.10)$$

$$c_{rdc} = \frac{0.18}{\gamma_c} \quad ; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0. \quad (3.11), (3.12)$$

A quantidade $V_{Rd,c}$ é o valor de cálculo do esforço transversal resistente do elemento sem armadura de esforço transversal, V_{Ed} é o esforço transversal atuante, b é a largura da base da seção, d é a altura útil da seção, c_c é o coeficiente parcial relativo ao betão, A_{sl} é a armadura longitudinal presente na seção. Este cálculo foi realizado e concluiu-se que não seria necessário recorrer à armadura de resistência ao corte.

3.5 - Verificação de Segurança de Vigas e Lajes aos Estados Limites de Utilização por Deformação.

No pré dimensionamento de vigas, como limitação da deformação admitiu-se que, a flecha a longo prazo não deverá ultrapassar o valor de, $V_{\text{vão}}/050$, pois existem elementos adjacentes à estrutura que possam ficar danificados devido à ocorrência de elevadas deformações, de acordo com 7.4.1(5), da NP EN 1992-1-1, e para as ações quase-permanentes. Consequentemente para a viga de maior vão é requerida apenas a altura de 30 cm. No entanto, para efeitos de Estados Limites Últimos de resistência à flexão, é corrente assumir que a altura da viga é cerca de $L/10$ sendo L o vão da viga, de modo a conduzir uma quantidade de armadura moderada. Assim para a viga de $L= 7.5$ m optou-se por uma altura de 60 cm e largura de 25 cm e para as restantes de 40 cm com largura de 20 cm. Resulta assim a seguinte solução:

Quadro 3.2- Características físicas das vigas

| | Base | Altura |
|----------------|------|--------|
| Viga maior vão | 0.25 | 0.6 |
| Viga | 0.2 | 0.4 |

O quadro seguinte resume as deformações mais gravosas, quer em vigas quer em lajes tanto a curto prazo como a longo prazo. A deformação a longo prazo é calculada através da adoção de um coeficiente de fluência obtido através da §3.1.4(4) tal como é apresentado na Figura seguinte.

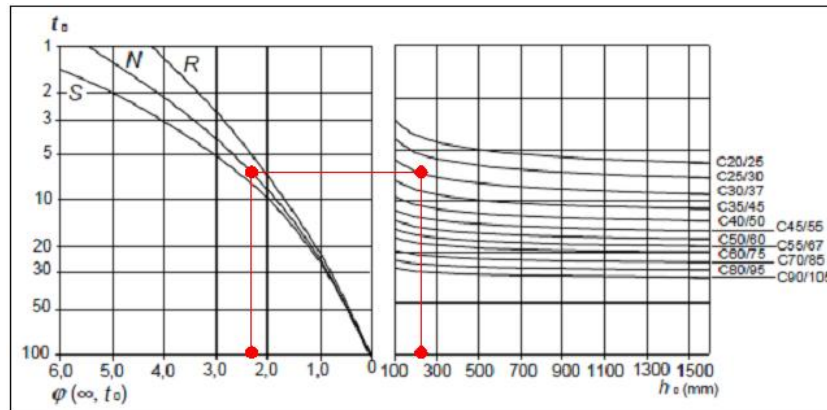


Figura 3.5- Método para a determinação do coeficiente de fluência, (ϕ_{∞, t_0})

Quadro 3.4 – Deformações a curto e a longo prazo nos elementos mais solicitados

| | Deformação a curto prazo (mm) | Deformação a longo prazo (mm) |
|------|-------------------------------|-------------------------------|
| Viga | 2,55 | 8,16 |
| Laje | 5,8 | 18,6 |

3.6 Verificação de Segurança de Vigas aos Estados Limites Últimos por flexão e por corte.

Nas vigas tal como nas lajes, a determinação da quantidade de armadura longitudinal provém da necessidade para equilibrar os esforços de flexão, que deverão ser superiores ou iguais à armadura mínima regulamentar e é calculada pelas mesmas expressões que foram usadas no cálculo dos esforços elásticos nas lajes à flexão, (ver secção 3.2.2)

A verificação ao esforço transversal foi elaborada com base no modelo de escoras e tirantes que equilibram os campos de tensões de compressão das vigas segundo Neves (2013)

Segundo este modelo, somos deparados com uma de duas situações possíveis: o esforço transversal atuante, V_{Ed} , é inferior ao "valor do esforço transversal resistente sem armaduras", $V_{Rd,c}$, e outra em que ocorre o contrário.

Assim se:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} \quad (3.13)$$

não é necessário recorrer a armadura de esforço transversal, sendo no entanto obrigatório respeitar a armadura mínima. Para tal deve-se calcular a taxa de armadura mínima de esforço transversal e a sua respetiva armadura:

$$\rho_{w,min} = \frac{(0.08 \times \sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}} \quad (3.14)$$

$$A_{sw}/s = \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times \sin 90}{f_{yk}} \quad (3.15)$$

Se

$$V_{ed} \geq V_{Rd,c} \quad (3.16)$$

a armadura é calculada de acordo com:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \cdot \quad (3.17)$$

Considerando que $V_{ed}=V_{Rd,s}$ temos:

$$\left(\frac{A_{sw}}{s} \right) = \frac{V_{ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta} \quad (3.18)$$

com, A_{sw} a área da seção transversal das armaduras de esforço transversal, s o espaçamento dos estribos, f_{ywd} o valor de cálculo da tensão de rotura das armaduras de esforço transversal e θ o ângulo formado pela escora comprimida de betão.

De modo a não se ultrapassar a resistência das escoras há que limitar o V_{Ed} ao "valor de cálculo do esforço transversal resistente máximo", $V_{Rd,max}$ definido por:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot V_I \cdot f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)} \quad (3.19)$$

sendo α_{cw} o coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido, b_w a largura nominal da viga, z a altura útil da viga ($0.9d$) e f_{cd} o valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão.

Do anteriormente exposto adotaram-se as seguintes soluções para as vigas, A e B, sendo que a primeira é para vãos dimensão igual ou superior a 5 metros e a segunda para vãos de dimensão menores.

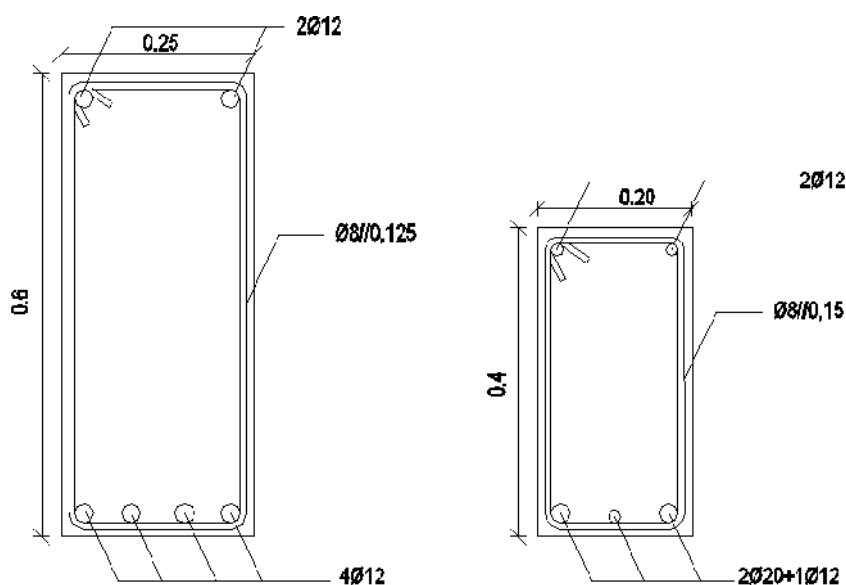


Figura 3.6 - Solução adotada para as vigas

3.7 Dimensionamento de Pilares

O dimensionamento de pilares tem em conta os esforços axiais e momentos fletores provenientes da análise global da estrutura e eventualmente os efeitos de segunda ordem locais P- , efeitos das imperfeições e efeitos a longo prazo devido à fluência.

Os efeitos de 2ª ordem são momentos fletores adicionais resultantes da conjugação entre o esforço axial a deformações da estrutura, e que só serão importantes no caso de pilares esbeltos, como sendo o presente caso de estudo, remetendo para o ponto 3.7.1 o calculo desses mesmos momentos fletores.

Para cada combinação de ações há que avaliar se os pilares da estrutura são elementos contraventados ou não contraventados. Em virtude da pequena dimensão do edifício e pequeno esforço axial em cada um dos pilares, estamos em crer que as dimensões atribuídas aos pilares, e o número destes, conduz a uma estrutura suficiente robusta e rígida para que se considere que os pilares são elementos isolados de uma estrutura contraventada, qualquer que seja a ação de base, mesmo a sísmica. O pré-dimensionamento de pilares conduziram-nos às seguintes secções tipo:

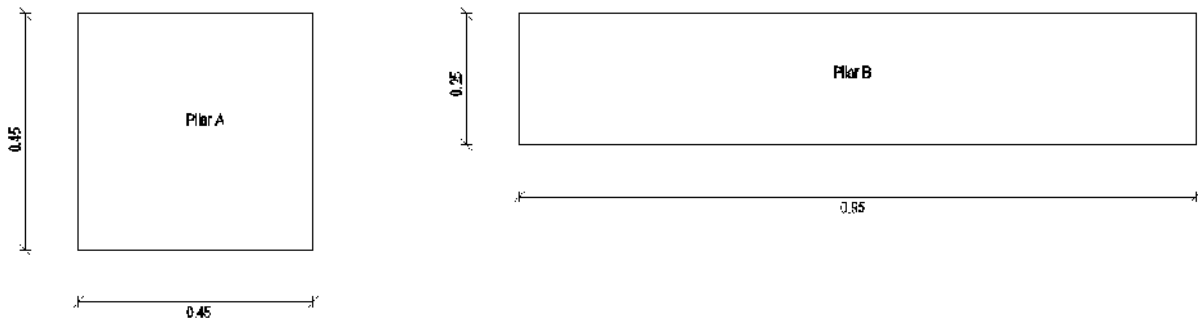


Figura 3.7 - Pilares adotados

3.7.1 Efeitos de 2ª ordem globais

Os efeitos de 2ª ordem globais, P- , podem ser ignorados se a cláusula §5.8.3.3 da EN NP 1992 for verificada:

$$F_{V,Ed} \leq k_1 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \cdot \frac{\sum E_{cd} \cdot I_c}{L^2} \quad (3.20)$$

onde $F_{V,Ed}$ é a carga vertical total, k_1 é 0,31 (o valor recomendado), n_s é o número de pisos da estrutura, E_{cd} é o valor de cálculo do módulo de elasticidade do betão, I_c é o momento de inércia da secção não fendilhada dos elementos de contraventamento e L é a altura da estrutura acima da secção de encastramento. Como é demonstrado no Quadro (3.4) o valor da carga máxima vertical total é inferior ao máximo regulamentar para que seja obrigatório considerar efeitos de 2ª ordem globais, mesmo na situação de projeto sismo1 que é a mais condicionante. Assim os efeitos globais de 2ª ordem em edifícios serão ignorados.

Quadro 3.5- Tabela com os valores das cargas verticais para as várias situações de projeto

| Situações de projeto | Persistente | Sismo 1 | Sismo 2 | Rara |
|--|-------------|----------|----------|----------|
| Valor da carga vertical total | 2358,987 | 2496,629 | 2475,043 | 1537,611 |
| Carga máxima para dispensa de efeitos globais 2ª ordem | 5014,603 | 5014,603 | 5014,603 | 5014,603 |
| Verificação | Verifica | Verifica | Verifica | Verifica |

3.7.2 Efeitos de 2ª ordem locais

A esbelteza geométrica dos pilares, é apresentada na cláusula §5.8.3.2 e é dada pela igualdade:

$$\lambda = l_0 / i \quad (3.21)$$

sendo, l_0 , o comprimento efetivo de elementos isolados obtidos da Figura1.8.consoante as suas condições de fronteira, e i o raio de giração definido por:

$$i = h / \sqrt{12} \quad (3.22)$$

onde h é a menor dimensão da secção do pilar.

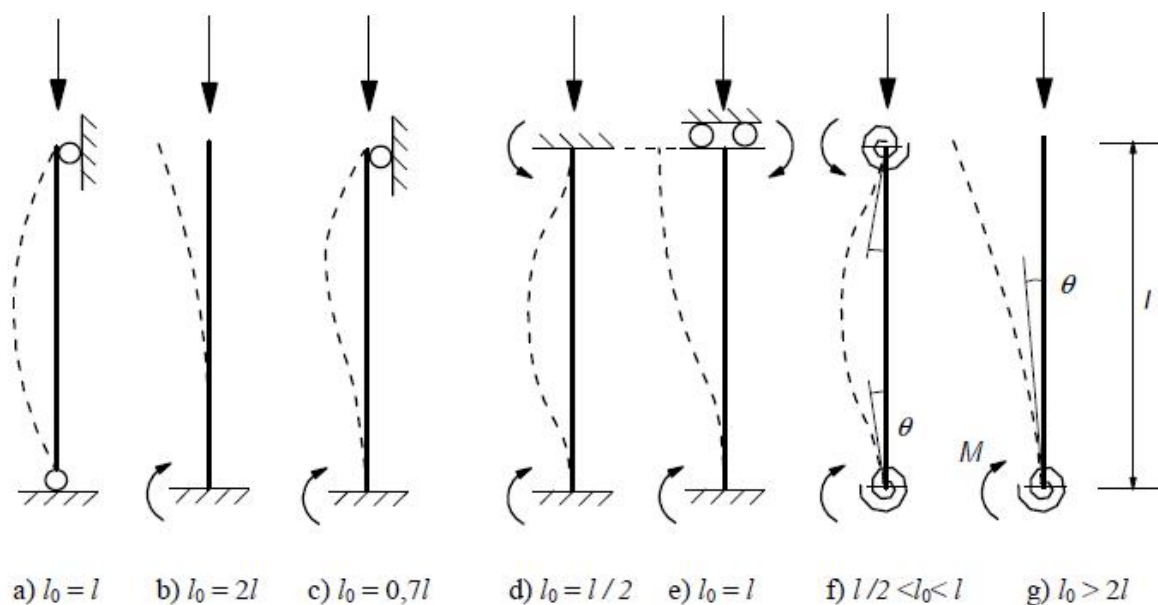


Figura 3.8 - Comprimentos efetivos para vários tipos de pilar

Pela cláusula 5.8.3.1(1) a verificação dos efeitos de 2ª ordem locais podem ser ignorados se:

$$\lambda < \lambda_{lim} \quad (3.23)$$

onde,

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{n}} \quad (3.24)$$

em que A,B e C podem ser vistos no artigo referido e "n" é o valor do esforço axial reduzido:

$$n = \frac{N_{ed}}{A_c \times f_{cd}} \quad (3.25)$$

No caso presente e recorrendo ao quadro 3.5 constatou-se que se verifica a condição $\lambda < \lambda_{lim}$ para todos os pilares e por isso os efeitos de 2ª ordem locais podem ser ignorados.

Quadro 3.6 – Verificação segurança em pilares

| | l_0 | i | | A_c | N_{ed} | n | lim | Verificação | lim |
|---------|-------|-------|----|-------|----------|-------|-------|-------------|-------|
| Pilar A | 2,6 | 0,13 | 20 | 0,203 | 239,9 | 0,059 | 44,3 | Verifica | |
| Pilar B | 2,6 | 0,072 | 36 | 0,238 | 147,42 | 0,031 | 61,2 | Verifica | |

3.7.3 Calculo dos efeitos das imperfeições geométricas globais

As imperfeições geométricas globais tratam da falta de verticalidade dos pilares e podem ser definidas pelo ângulo à vertical por (§5.2 (5) do EC2):

$$\theta_i = \theta_0 \times \alpha_h \times \alpha_m \quad (3.26)$$

onde " θ_0 " é o valor básico da imperfeição, " α_h ", é o coeficiente de redução relativo ao comprimento ou altura total da construção e " α_m " é o coeficiente relativo ao numero de elementos carregados, sendo que:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad (3.27)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5(1 + 1/m)} \quad (3.28)$$

onde " l " é o comprimento ou altura em metros e " m " é o número de elementos verticais que contribuem para o efeito total, ou seja, têm esforço axial significativo. Os efeitos das imperfeições globais pode ser substituído por forças horizontais equivalentes.

Previamente ao dimensionamento das armaduras é necessário determinar a excentricidade:

$$e_i = \frac{\theta_i \times l_0}{2} \quad (3.29)$$

com um mínimo de:

$$e_{min} = e_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.02 \\ h/30 \end{array} \right\} \quad (3.30)$$

Seguidamente procedeu-se ao cálculo dos esforços no pilar tendo em conta os efeitos das imperfeições.

Quadro 3.7 - Valores condicionantes dos esforços em pilares sem ter em conta os efeitos de 1ª ordem

| | M [kN/m] | N [kN] |
|---------|----------|--------|
| Pilar A | 129,86 | 239,89 |
| Pilar B | 212,82 | 147,42 |

Valores finais dos esforços:

$$\begin{cases} M_{ed} = M + |N| \times e_i \\ N_{ed} = N \end{cases} \quad (3.31)$$

Quadro 3.8 - Valores condicionantes dos esforços nos pilares tendo em conta os efeitos das imperfeições geométricas

| | M_{ed} [kN/m] | N_{ed} [kN] |
|---------|-----------------|---------------|
| Pilar A | 134,66 | 239,89 |
| Pilar B | 216,77 | 147,42 |

Seguidamente com o auxílio da tabela de dimensionamento presente em [Martins, Carlos, 1993], podemos calcular a necessidade de armadura do pilar.

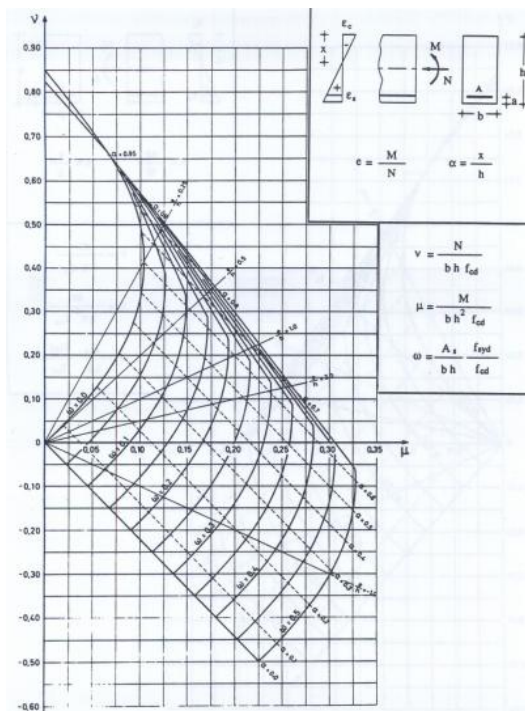


Figura 3.9- Ábaco de dimensionamento à flexão composta para pilares

A utilização deste ábaco consiste na determinação das coordenadas v e μ , em que:

$$v = \frac{N_{ed}}{b \times h \times f_{cd}} \quad (3.32)$$

é o esforço normal reduzido e

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \times d^2 \times f_{cd}} \quad (3.33)$$

que é o momento reduzido

Estes esforços reduzidos, representam um ponto no ábaco anteriormente apresentado, e que é a percentagem mecânica de armaduras, que se converte em área efetiva de armadura segundo a seguinte equação.

$$A_s = \omega \times \frac{b \times h \times f_{cd}}{f_{syd}} \quad (3.34)$$

Dimensionamento da armadura transversal em pilares

$$\phi_{cintas} \geq \begin{cases} \phi 8 \\ \frac{\phi_{arm.long}}{4} \end{cases} \quad (3.35)$$

$$s_{l,t} \geq \begin{cases} 15 \times \phi_{min} \\ b \\ 0.3 \end{cases} \quad (3.36)$$

$$A_{sw} / s = \frac{V_{ed}}{b \times z \times f_{yd}} \quad (3.37)$$

Quadro 3.9 - Soluções esquemáticas dos pilares

| | Quantidade de armadura longitudinal necessária (cm ²) | Armadura longitudinal adotada | Quantidade de armadura transversal necessária (cm ²) | Armadura transversal adotada |
|---------|---|-------------------------------|--|------------------------------|
| Pilar A | 5,82 | 4Ø16 | 3,45 | Ø10//0,15 |
| Pilar B | 30,12 | 10Ø20 | 8,18 | Ø12//0,125 |

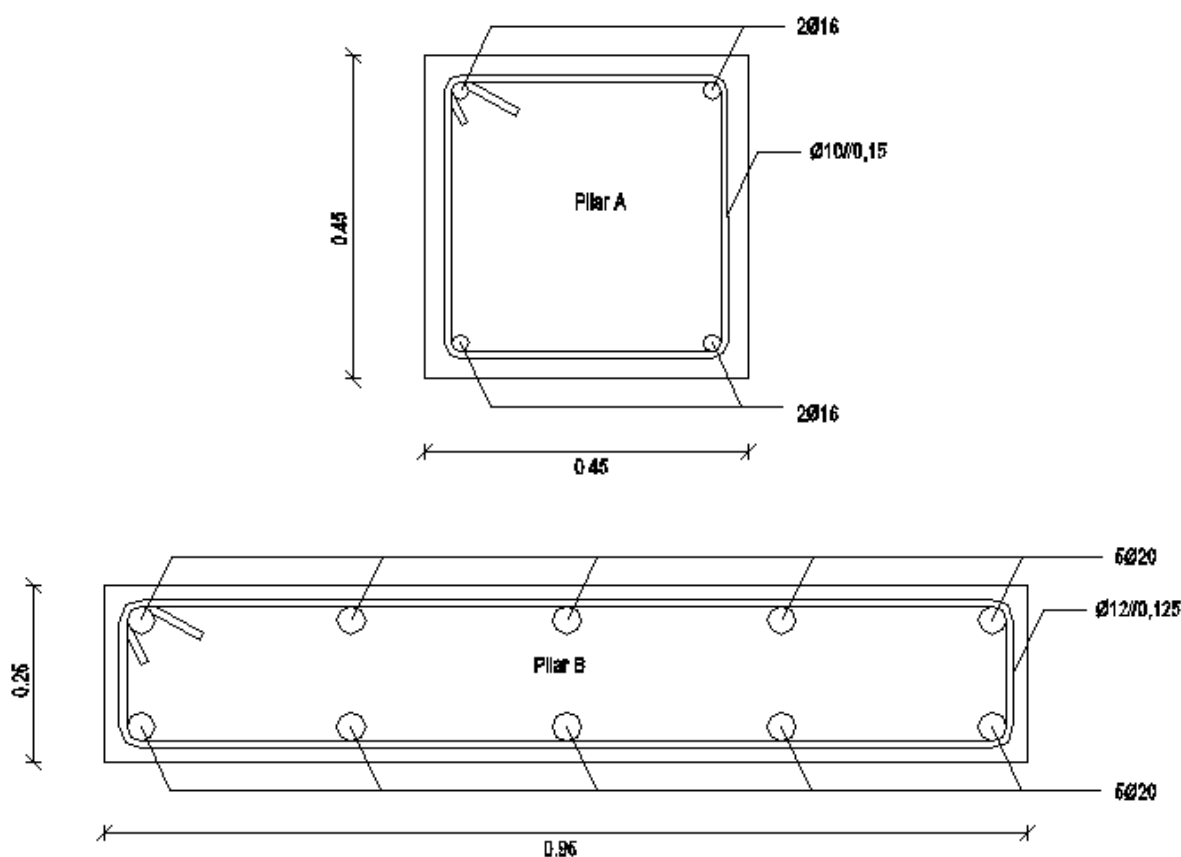


Figura 3.10 - Soluções adotadas para os pilares

3.8 Dimensionamento de Fundações

3.8.1 Dimensionamento Geotécnico

Como medida simplificativa fez-se o dimensionamento geotécnico apenas para duas sapatas, uma no contorno da moradia, e outra no interior, e para estas, as que apresentam maiores esforços combinados de compressão para a situação de projeto persistente. A verificação de segurança a fazer será, de acordo com § 6.5.2 do EC7, a seguinte:

$$V_d \leq R_d \quad (1.38)$$

em que V_d deve incluir o peso da fundação, o peso de qualquer material de aterro de preenchimento e todas as pressões de terras, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis.

$$R_d = A' \times \left[c' N_c \times b_c \times S_c \times i_c + q' N_q \times b_q \times S_q \times i_q + \frac{I}{2} \gamma' \times B' \times N_\gamma \times b_\gamma \times S_\gamma \times i_\gamma \right] \quad (1.39)$$

onde, c' é a coesão efetiva, q' é a carga efetiva ao nível da base da fundação, γ' é o peso volúmico do solo e B' é a menor dimensão da sapata, sendo os valores adimensionais presentes, apresentados na seção seguinte.

3.8.2 Fatores de capacidade resistente:

- Fatores de capacidade de carga.

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \times \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (3.40)$$

$$N_c = (N_q - 1) \times \cot g \varphi' \quad (3.41)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi' \quad (3.42)$$

em que φ' é o ângulo de atrito interno em tensões efetivas.

- Fatores de inclinação da base da fundação:

Como a base da sapata é horizontal, estes fatores tomarão o valor unitário.

$$b_c = b_q = b_\gamma = 1 \quad (3.43)$$

- Fatores de forma da fundação para sapatas retangulares:

$$S_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \times \sin \varphi' \quad (3.44)$$

$$S_\gamma = 1 - 0,3 \times \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (3.45)$$

$$S_c = \frac{S_q N_q - 1}{N_q - 1} \quad (3.46)$$

onde, B' é a largura efetiva da fundação e L' é o comprimento efetivo da fundação

- Fatores de inclinação de carga, devido à existência de uma força horizontal H:

$$i_c = i_q - \frac{(I - i_q)}{N_c} \times \tan \varphi' \quad (3.47)$$

$$i_q = \left[I - \frac{H_d}{V + A'c' \cotg \varphi'} \right]^m \quad (3.48)$$

$$i_\gamma = \left[I - \frac{H_d}{V + A'c' \cotg \varphi'} \right]^{m+I} \quad (3.49)$$

onde m é o expoente nas fórmulas de cálculo do coeficiente de inclinação i e é calculado pelas seguintes formulas:

$$m = m_\theta = m_B \cos^2 \theta + m_L \sin^2 \theta \quad (3.50)$$

$$m = m_B = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{I + \frac{B'}{L'}}, \text{ , quando H atua na direção de B'} \quad (3.51)$$

$$m = m_L = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{I + \frac{L'}{B'}}, \text{ , quando H atua na direção de L'} \quad (3.52)$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{H_{dyy}}{H_{dxx}} \right) \quad (3.53)$$

$$H_d = \sqrt{H_{dxx}^2 + H_{dyy}^2} \quad (3.54)$$

A determinação dos parâmetros de (1.15) a (1.29), permitem com o recurso da igualdade (1.14) determinar a capacidade resistente do solo à compressão, Rd, que deverá ser sempre superior à ação de compressão que resultam das combinações de ações aos ELU de acordo com a expressão 6.4.2(3) do NP EN 1990. É de salientar que devido à presença das vigas de fundação se admite que os momentos nas sapatas são nulos.

3.8.2.1 Dimensionamento de armaduras em sapatas centradas

Com as simplificações assumidas anteriormente, onde só existe o efeito de compressão nas fundações recorre-se ao modelo mais simples de escoras e tirantes para o dimensionamento de armaduras em sapatas, neste caso centradas.

O equilíbrio das forças em jogo nomeadamente, esforço axial, forças de compressão na biela e tração nos tirantes é efetuado no ponto P da Figura 3.11, sendo o diagrama de corpo livre mostrado na Figura 3.12.

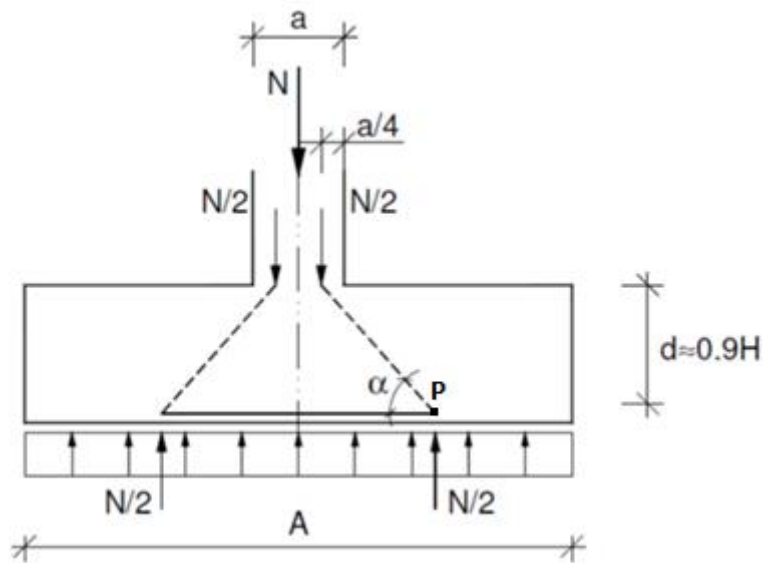


Figura 3.11- Modelo de escoras e tirantes

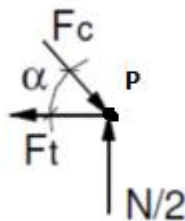


Figura 3.12 – Diagrama de corpo livre no ponto P da Figura 3.11

Em que:

$$F_t = \frac{N(A - a)}{8d} \quad (3.55)$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_{syd}} \quad (3.56)$$

onde N é o esforço axial a que a sapata está sujeita, A é a largura da sapata, a é a largura do pilar da sapata, d é a altura da sapata, F_t é a força de tração resultante da aplicação do modelo de escoras e tirantes e F_c é a força de compressão do mesmo modelo de escoras e tirantes.

Na sapata em estudo, visto ser quadrada, a área de armadura distribuída calculada pelas Fórmulas 3.55 3.56 é de $0.86 \text{ cm}^2/\text{m}$, mas como este valor é inferior à área mínima de armadura, prevalece a área de armadura mínima de $2.03 \text{ cm}^2/\text{m}$, ao que corresponde a malha de #8//0.20.

3.8.2.2 Dimensionamento de armaduras em sapatas excêntricas

Como se pode ver na Figura 3.13, por possuir uma viga de fundação que equilibra os momentos recebidos pela sapata esta pode ser tratada e calculada como uma sapata isolada, pelo que o cálculo é semelhante ao da secção anterior.

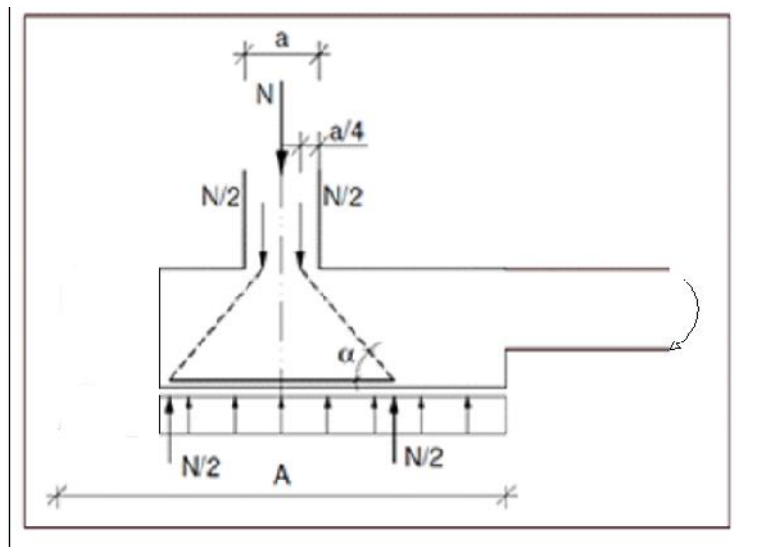


Figura 1.13- Esquema de uma sapata excêntrica com viga de fundação

Com a viga de fundação a equilibrar os momentos produzidos pela excentricidade provocada pelo pilar não estar centrado com o centro de gravidade da sapata, o método de cálculo é em tudo idêntico ao cálculo da sapata centrada pois a sapata não tem de absorver os momentos provenientes do pilar pois estes são encaminhados para as vigas de fundação.

3.8.3 Vigas de fundação

As vigas de fundação, servem (i) para manter funcionamento homogêneo da fundação a forças horizontais na situação de projeto sísmico, (ii) equilibrar momentos provenientes dos pilares dando continuidade e coerência ao modelo de comportamento das sapatas onde se considerou que estas só equilibravam esforços axiais (iii) equilibram o momento resultante da excentricidade geométrica em sapatas de extremidade e de canto (neste caso as vigas também se designam por vigas de equilíbrio), (iii) para minorar assentamentos diferenciais imprevistos entre pilares devido a comportamento anómalo do solo absorver os momentos entre sapatas. Pelo papel que têm a desempenhar estes elementos estruturais são de maior dimensão que as vigas de pavimento com vão idêntico.

O dimensionamento de armaduras de flexão e de corte seguem os mesmos preceitos que os de dimensionamento de vigas. No entanto o recobrimento deve ser maior porque o ambiente é mais adverso. Devido ao possível assentamento diferencial, e não querendo calculá-lo de forma explícita, adopta-se armadura superior para a viga de fundação igual à inferior.

Quadro 3.10 - Valores condicionantes dos esforços nas vigas de fundação e consequente armadura

| | M_{sd} Máximo | V_{sd} Máximo | b | h | Armadura Longitudinal Superior | Armadura Longitudinal Inferior | Armadura Transversal |
|------------------|--------------------|--------------------|------|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Viga de fundação | 132,55 kN/m | 113,128 kN | 0,25 | 0,5 | 3 Ø 20 | 3 Ø20 | Ø10//0,175 |

Assim, deste modo, foi adotada a seguinte solução:

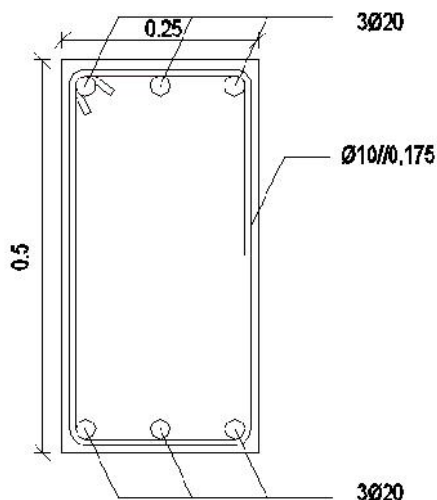


Figura 3.14 - Solução adotada para as vigas de fundação

3.8.4. Estimativa de quantidades de Material Necessário

Para cada elemento mais solicitado, e conseqüentemente, mais armado, foi elaborado o quadro seguinte que indica a taxa de armadura por m³ de betão, dos vários elementos constituintes da estrutura.

Quadro 3.11 - Quantidades de armadura obtida nos elementos, e obtida em bibliografia

| Elemento | Taxa de armadura no elemento condicionante [Kg/m ³] | Volume de betão [m ³] | Taxa de aço na construção no Brasil [Kg/m ³] | Gerador de preços [Kg/m ³] |
|-------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| Sapatas | 16,3 | 146,21 | - | - |
| Vigas de Fundação | 101,9 | 9,88 | - | 51 |
| Pilares | 30,49 | 26,14 | 110-150 | 120 |
| Vigas | 71,29 | 3,41 | 85-155 | 150 |
| Lajes | 126,3 | 146,41 | 65-85 | 22 |

3.9. Avaliação térmica

De seguida apresenta-se pormenores construtivos a ter em conta no cálculo de avaliação do comportamento e do desempenho térmico de edifícios, de acordo com o REH (decreto de lei 118/2013 de 20 de Agosto), cujo cálculo apresentado em anexo.

3.9.1. Envoltente Exterior



Figura 3.15- Envoltente exterior da construção tradicional

A envoltente exterior da solução de betão armado é composto por dois panos de alvenaria de tijolo de barro furado com 0,11 e 0,15m, caixa-de-ar com 0,03 m de espessura, XPS no interior da caixa-de-ar com 0,04m de espessura e rebocos tradicionais de argamassa no interior e exterior. $U_{\text{Parede exterior}} = 0,61 \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

3.9.2 Envoltente Interior

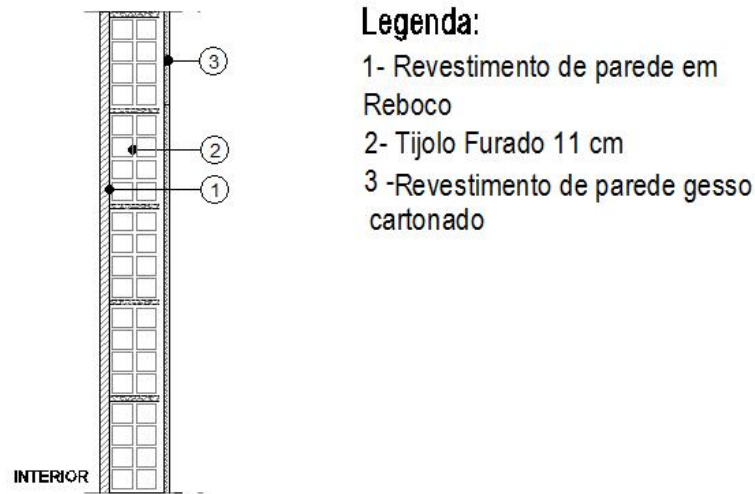


Figura 3.16- Envoltente interior em alvenaria

A envoltente interior da solução de betão armado é composto por um pano de alvenaria de tijolo de barro furado com 0,11 e rebocos tradicionais de argamassa no interior e exterior. $U_{\text{Envoltente Interior}} = 1,3W/m^2 \cdot ^\circ C$

3.9.3 Cobertura inclinada

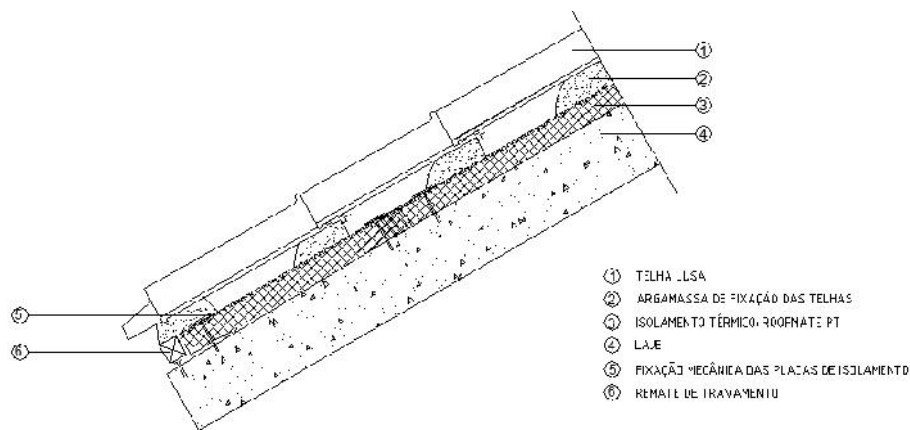


Figura 3.17- Cobertura Inclinada Alvenaria

A cobertura inclinada da solução de betão armado é composto por laje inclinada de betão armado com 0,17m de espessura, tela impermeabilizante, betonilha de regularização com 0,04m de espessura, telha lusa e reboco tradicional de argamassa. $U_{\text{Cobertura inclinada}} = 0,46W/m^2 \cdot ^\circ C$

3.9.4 Vãos Envidraçados

Vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, de abertura de correr com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadrícula, com neutro cool-lite ST 150 6mm+12mmAr+6mm, permeabilidade ao ar: classe 3, proteção solar interior com cortina opaca de cor clara.

Quadro 3.12- Área de envidraçados segundo as várias vertentes

| Área Envidraçados (m ²) | |
|-------------------------------------|-------|
| Vertente Norte | 13,58 |
| Vertente Sul | 4,7 |

Após a avaliação térmica da solução o Quadro 3.13 resume os valores obtidos:

3.9.5 Resumo Estudo Térmico

Quadro3.13- Resumo da avaliação térmica da solução de betão armado

| Fração | Tx. ren (RPH) | N _{ic} (kWh/m ² .ano) | N _i (kWh/m ² .ano) | N _{vc} (kWh/m ² .ano) | N _v (kWh/m ² .ano) | Q _a (kWh/m ² .ano) | N _{tc} (kWh/m ² .ano) | N _t (kWh/m ² .ano) | E _{ren,p} (kWh/.ano) |
|--------|------------------|--|---|--|---|---|--|---|----------------------------------|
| BA | 0,42 | 53,40 | 38,53 | 2,55 | 18,97 | 2140 | 175,76 | 159,08 | 0 |

Com estes valores obteve-se a seguinte classificação energética da habitação:

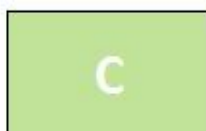


Figura 3.18- Classificação energética da habitação

3.10. Mapa de Orçamentos.

O seguinte orçamento foi elaborado com recurso aos preços praticados na região do Algarve e gentilmente facultados pela empresa de engenharia e projeto, N-Projectos, Lda. Os preços apresentados ainda carecem do aumento do valor do IVA em vigor pela legislação, mas já incluem o seu fornecimento, montagem ou execução.

Quadro 3.14- Orçamento criado a partir dos preços fornecidos pela empresa N.Projectos

| Designação | Unidades | Total | Preço Unitário (€) | Sub-Total(€) |
|---|----------------|--------|--------------------|-------------------|
| Betão de limpeza para vigas de fundação | m ³ | 1,94 | 110 | 213,4 € |
| Betão armado C30/37, com aço A400 NR | m ³ | 97,68 | 240 | 23443,2 € |
| Cofragem dos elementos de betão armado | m ² | 621,47 | 17 | 10564,9 € |
| Pano de alvenaria dupla para paredes exteriores com reboco, emboço e salpisco | m ² | 182,07 | 50 | 8517 € |
| Pano de alvenaria simples para paredes interiores com reboco, emboço e salpisco | m ² | 106,29 | 25 | 2657,25 € |
| | | | Total | 45395,84 € |

O seguinte orçamento foi elaborado com recurso aos preços retirados do site Gerador de Preços. Os preços apresentados ainda carecem do aumento do valor do IVA em vigor pela legislação e no preço está apenas contemplado o fornecimento do produto carecendo ainda na sua montagem / aplicação.

4. ESTRUTURA EM LIGHT STEEL FRAMING

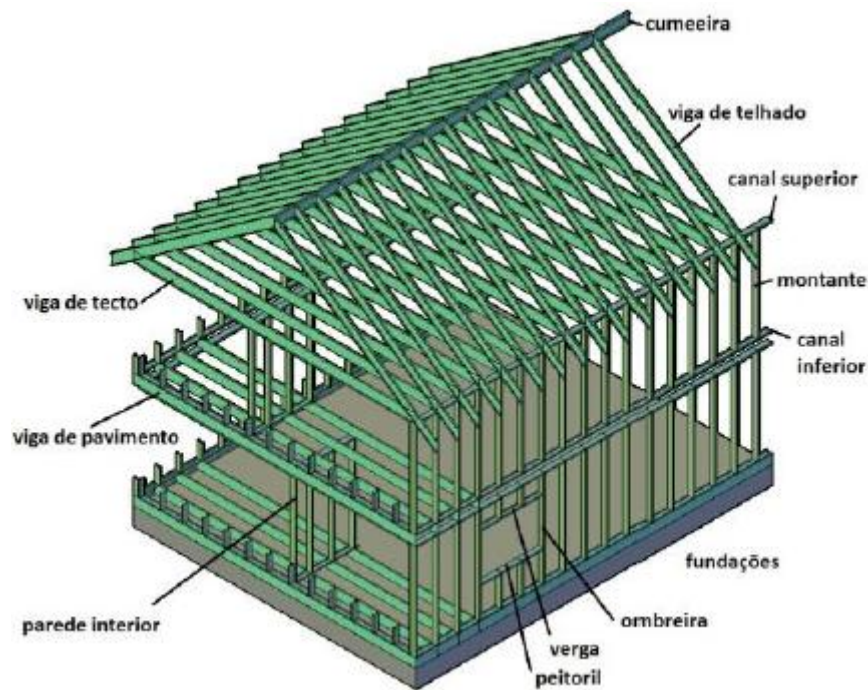


Figura 4.1-Constituintes de uma estrutura em LSF (Pires, 2013)

A construção com recurso a perfis metálicos de “aço leve”, a tradução livre de light steel framing, tem a sua base no facto de toda a estrutura ser constituída por perfis de aço dobrados “in-situ” que lhe confere uma aparência leve.

4.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA CONSTRUTIVO E SUA CONCEÇÃO

O sistema estrutural LSF é composto por painéis resistentes “verticais”, que constituem “paredes” resistentes e por lajes, planas ou inclinadas. Os painéis verticais resistentes são constituídos por montantes metálicos aparafusados a placas OSB numa face ou nas duas consoante as necessidades resistentes. Estes elementos equilibram as forças verticais dos pisos e forças horizontais resultantes das ações do vento e sismo, e de desvios por falta de verticalidade dos prumos ou das excentricidades da carga nas ligações. De modo a melhorar o comportamento a forças horizontais poderá ser necessário duplicar as placas de OSB (por sobreposição), colocar umas fitas metálicas horizontais ou cruzadas, e idealmente, painéis de chapa metálica convenientemente distribuídos.

Os elementos planos horizontais são constituídos por um conjunto de vigas metálicas, aparafusadas ao pavimento em OSB, mas que devem estar posicionados sobre os montantes, formando com estes uma serie de pórticos rotulados nos nós. O aparafusamento

das vigas aos painéis garante alguma rigidez no plano horizontal, mas esta pode ser melhorada colocando fitas em cruz. Para evitar fenômenos de encurvadura ou de rotação do banzo inferior das vigas são realizados tarugos perpendicularmente às vigas e afastados de cerca 1.25 m.

Segundo do conceito de estrutura alinhada, *in line framing*, deve existir um alinhamento da posição das almas das vigas com as almas dos montantes, como ilustrado na Figura 4.2, e sendo esta a razão por a distância entre prumos e conseqüentemente entre vigas de pavimento, é submúltipla da dimensão dos painéis de OSB a utilizar. Ainda de acordo com a Figura 4.3 as vigas devem transferir as cargas diretamente para os montantes e não se devem apoiar sobre as calhas, porque estas têm muito baixa rigidez e resistência limitada. Caso contrário a deformação da calha seria excessiva induzindo deformações na estrutura global, além de que a segurança e a resistência ficam comprometidas. [Rego, D. 2012]

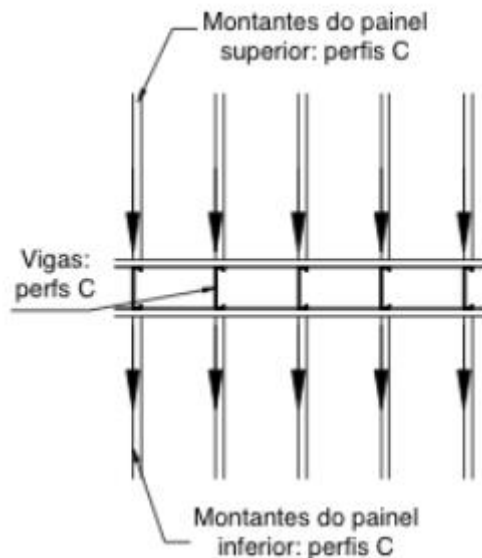


Figura 4.2 Pormenor da verticalidade dos perfis

4.1.1 FUNDAÇÕES E ANCORAGEM

De maneira a salvaguardar os requisitos de proteção térmica, condensações e humidades, as fundações de qualquer estrutura em aço leve têm de ser em betão armado, evitando assim fenômenos de capilaridade.

Assim deverá ser criado um ensoleiramento geral de maneira que as paredes possam assentar em cima desse betão armado e evitar problemas de ascensão por capilaridade, podendo nessa mesma laje ficar contidas todas as especialidades necessárias ao normal funcionamento da habitação. O ideal é conceber uma caixa-de-ar sob esse piso. Se existirem caves, com paredes em betão armado, estas têm essa função.

A ancoragem dos perfis metálicos à laje de betão armado é realizada por meio de buchas químicas. Segundo [Silvestre, Nuno et al, 2013] deverá haver uma fixação de aperto mecânico a cada 1,2 metros nos canais que conectam com os perfis sendo que não podem ficar a mais de 0.30 metros dos cantos da construção ou de vãos de portas [Silvestre, Nuno et al, 2013].



Figura 4.3 – Pormenores das ligações das ancoragens (Gouveia, D. 2015)

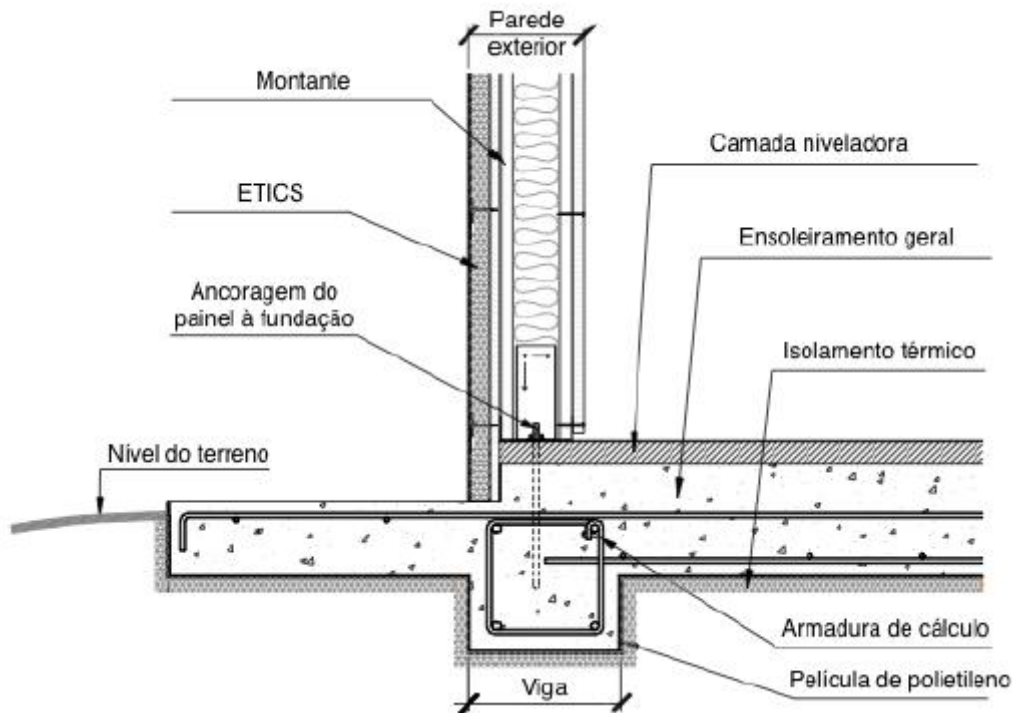


Figura 4.4 Representação de ensoleiramento geral (Rego,2012)

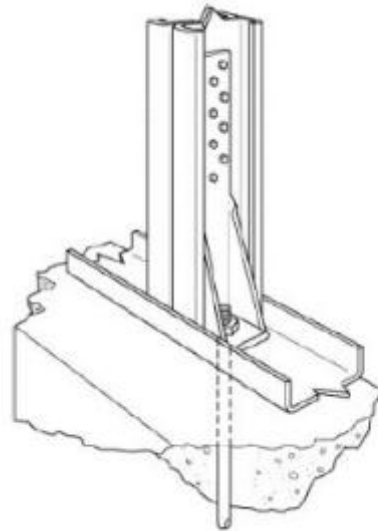


Figura 4.5- Pormenor da ligação do canal à fundação e do acréscimo de resistência conferido pela rigidificação da base do montante

4.1.2 CONSTITUIÇÃO DAS PAREDES

- **DISPOSIÇÕES GERAIS**

Segundo [Rego, D. 2012], o conceito principal das estruturas em Light Steel Framing é, dividir a estrutura num grande número de elementos estruturais, para que, cada um resista apenas a uma porção da carga total. O afastamento dos montantes é igual ou submúltiplo das divisões das placas OSB e a sua dimensão está relacionada com a carga neles aplicados. O afastamento adotado neste caso é de 60 cm.

- **ELEMENTOS CONSTITUINTES DE UM PAINEL**

As paredes em LSF são constituídas por 2 elementos básicos:

- Montantes (perfis C dispostos na vertical entre as guias inferior e superior) identificados pela letra A na Figura 4.4
- Guias (perfis em U que unem os montantes nos seus extremos inferiores e superiores), identificados pela letra B na Figura 4.4

É de salientar que as ligações guia-montante não oferecem a garantia de qualquer encastramento aos montantes sendo estes modelados como barras bi-rotuladas pelo que se exigem elementos de contraventamento para conferir estabilidade da parede no seu plano. Esta é conferida por tiras de chapa diagonais, por painéis OSB, em gesso cartonado ou em chapa. Habitualmente a face exterior é em OSB e a interior em gesso cartonado. Contudo,

sob a ações cíclicas a zona aparafusada no gesso cartonado é mais frágil do que nos painéis OSB. Por isso é conveniente ter nas paredes resistentes, pelo menos numa face da parede um painel OSB, e se for necessário nas duas faces. Em paredes não resistentes, só de compartimentação, podem colocar-se apenas painéis em gesso cartonado.

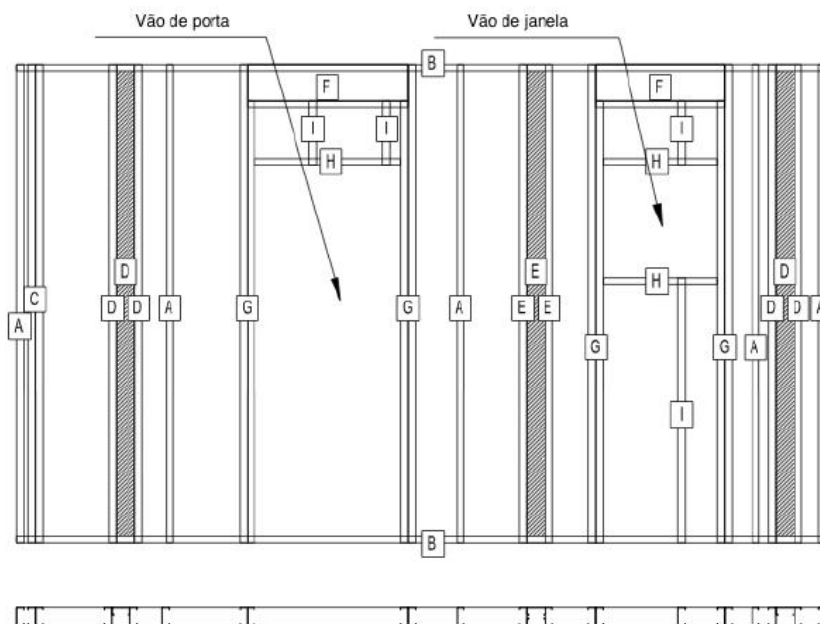


Figura-4.6 Alçado e respetivo corte do painel estrutural em Aço Leve. (Adaptado de ConsulSteel, 2002).

• UNIÕES ENTRE PAREDES

A construção de painéis implica a utilização de perfis de secção simples e em alguns casos de secção composta. A utilização de perfis adicionais, necessários por razões construtivas, origina zonas de resistência adicional na estrutura, tornando esta mais redundante. Existem, portanto, três tipos de secções compostas, cujas disposições construtivas se apresentam de seguida (Craсто,2005):

- Duplo (dois montantes unidos pela alma): O seu uso mais recorrente é na união entre 2 painéis na esquina de duas paredes, identificado pela letra C na Figura 4.4, (Rego,2012).

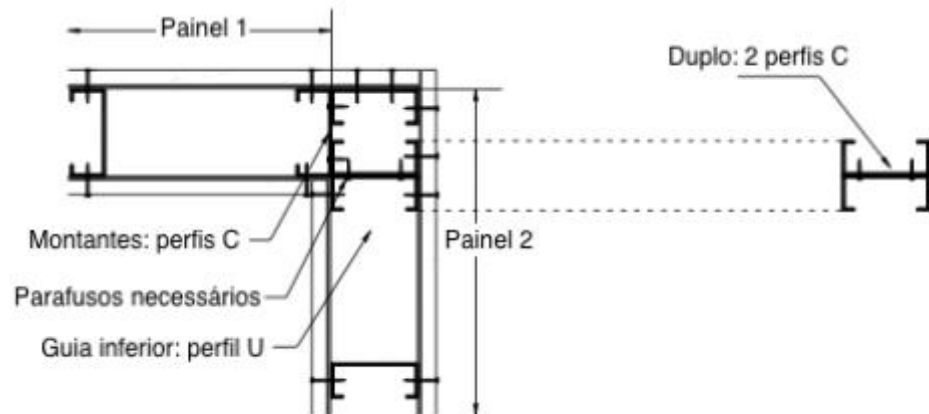


Figura 4.7- Pormenorização da união de dois painéis (Rego, 2012)

- Triplo (composto por três montantes sendo um deles perpendicular aos demais), permite a união de uma parede com uma secção intermédia de outra parede, Identificado pela letra D na Figura 4.4.

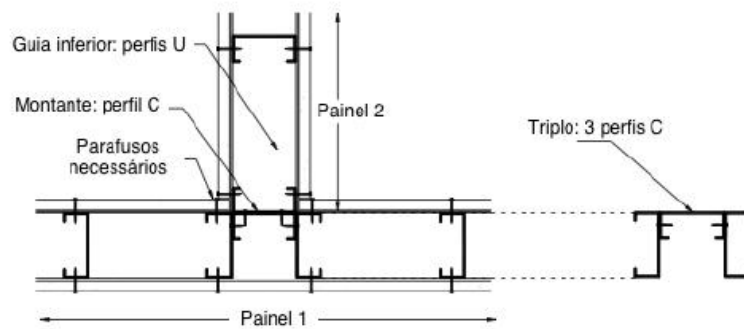


Figura 4.8- Pormenorização da união de três painéis (Rego, 2012)

- Quadruplo (composto por 4 montantes, dois deles perpendiculares) que permite a união em cruz de dois painéis, identificado pela letra E na Figura 4.4

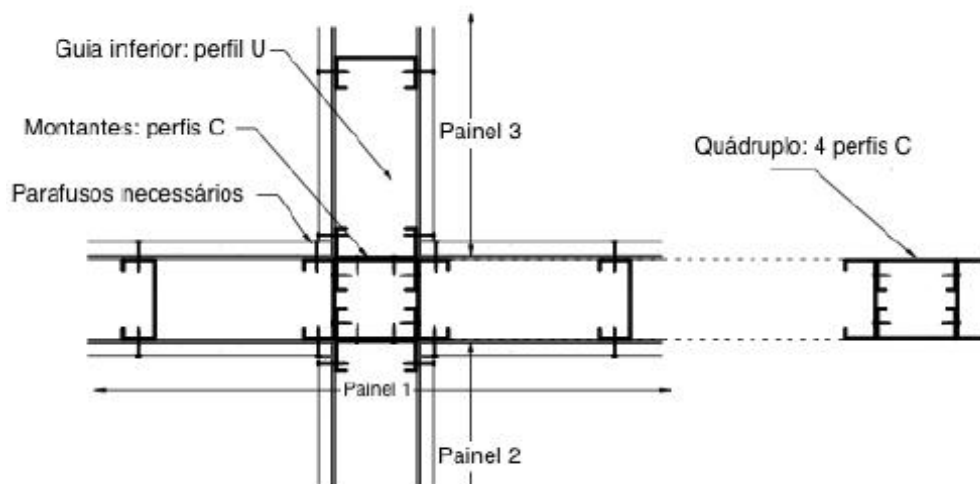


Figura 4.9- Pormenorização da união de quatro painéis (Rego, 2012)

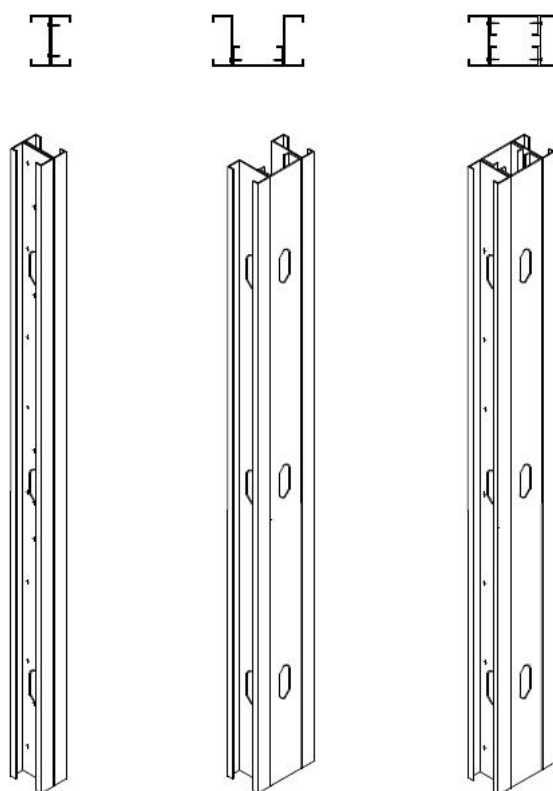


Figura 4.10- Perspetiva dos três tipos de uniões (ConsulSteel, 2002)

4.1.3 PLACAS DE OSB

Em substituição das tradicionais paredes com panos de alvenaria, na construção em LSF usam-se placas OSB (Oriented Strand Board). Estas placas são constituídas por partículas de madeira colada e orientada em diferentes direções, colocadas em várias camadas, e posteriormente prensadas, como se pode ver na figura 4.11.

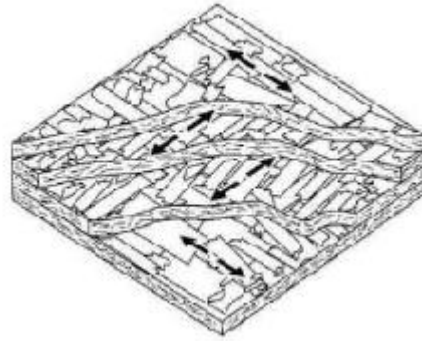


Figura 4.11- Madeira orientada em diferentes direções (Dias et al.,2004)

As suas propriedades mecânicas são semelhantes à da madeira sólida e têm funções de compartimentação de espaços em paramentos verticais e horizontais, tanto exteriores como interiores. As placas quando aplicadas verticalmente ao serem aparafusadas aos montantes da estrutura providenciam travamento lateral à estrutura no plano da mesma como ilustra a figura 4.11.

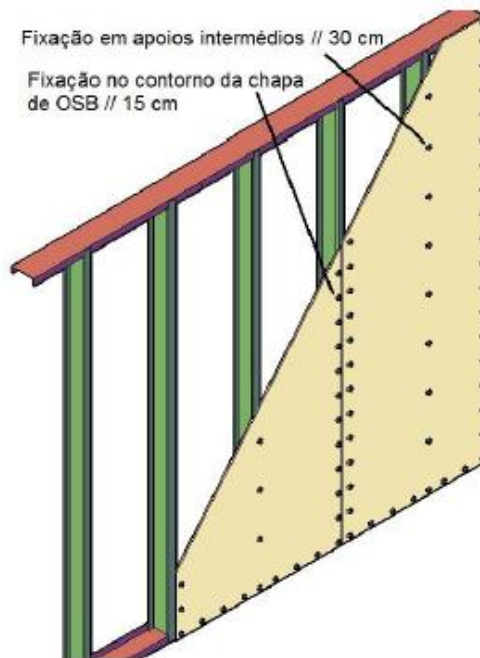


Figura 4.12- Fixação dos painéis OSB. [Silvestre, Nuno et al, 2013]

Quando dispostas horizontalmente e aparafusadas às vigas conferem ao pavimento interior ou de cobertura o comportamento de diafragma horizontal que tem importante função de transferir as forças horizontais devido ao vento, sismo e imperfeições de verticalidade da estrutura aos painéis verticais, ilustrado na figura 4.12.

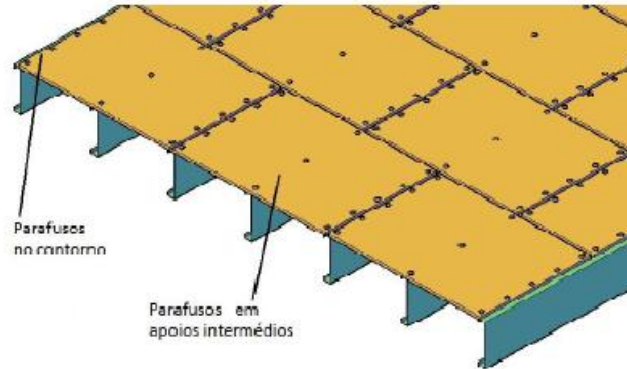


Figura 4.13- Pormenor da fixação do pavimento. [Silvestre, Nuno et al, 2013]

Percebe-se assim que os painéis verticais e horizontais interligados se traduzem por uma estrutura com comportamento tridimensional de elementos planos. Contudo por vezes é necessário aumentar a rigidez no plano tanto dos elementos verticais como horizontais pelo que é necessário para além das chapas OSB, eventuais chapas em aço, tiras ou fitas e contraventamentos adequadamente distribuídos. Em cada direção há que colocar pelo menos 20% de paredes resistentes, sendo que se consideram paredes resistentes as que não são interrompidas de alto a baixo e cuja extensão seja de pelo menos 1.10 metros.

4.1.4 CONSTITUIÇÃO DOS VÃOS

A existência de aberturas nas paredes (portas, janelas) criou a necessidade direcionar as cargas para os montantes imediatamente mais próximos dos vãos, que, por serem sujeitos a uma carga superior devem ser reforçados de acordo com a figura 4.14.

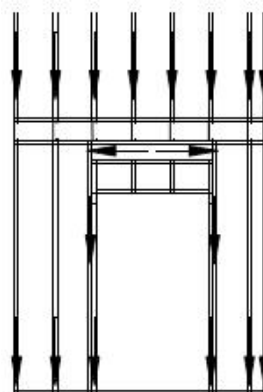


Figura 4.14- Caminho de cargas na existência de um vão.

Para este efeito as principais peças utilizadas são, como mostra a Figura 4.4, as seguintes:

- Lintel; Perfil disposto na horizontal por cima do vão de maneira a desviar as cargas verticais superiores para os montantes confinantes, identificado na Figura 4.4 com a letra F.
- Montante auxiliar ou *king stud*; Perfil utilizado como apoios do lintel e que delimita e confina lateralmente o vão, identificado na Figura 4.4 com a letra G.
- Verga ou *header* Perfil utilizado horizontalmente sobre os vãos, identificado na Figura 4.4 com a letra H.
- Montante de ligação ou *cripple stud*; Perfil utilizado acima e abaixo dos vãos, identificado na Figura 4.4 com a letra I.

Tal como referido anteriormente o montante auxiliar (*King stud*) é composto por um montante e uma ou mais ombreiras (*jack stud*). O número de ombreiras deve ser calculado através de uma análise estrutural ou mais simplesmente deve ter uma ombreira por cada montante interrompido no vão a dividir por dois, (Rego,2012) segundo a Figura 4.11 .De acordo com o número de ombreiras utilizadas o montante denomina-se *king*, *double king* ou *triple king*.

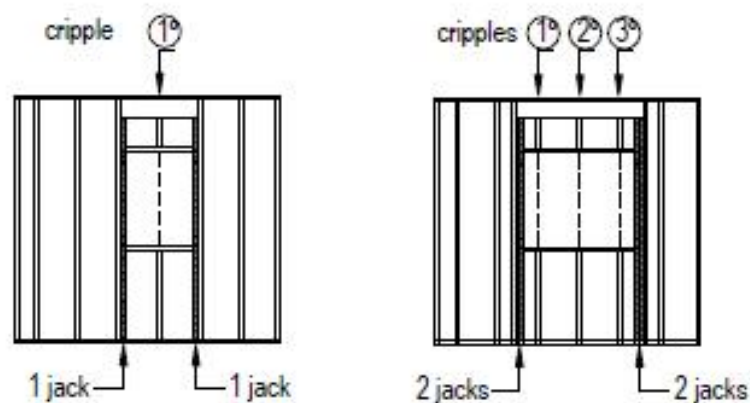


Figura 4.15-Disposição do número de ombreiras consoante o tamanho do vão (Rego,2012).

4.1.5 CONSTITUIÇÃO DOS PISOS

Partindo do mesmo pressuposto das paredes nos pisos a ideia é dividir a estrutura em sub estruturas mais pequenas para que cada uma delas resista a uma fração da carga.

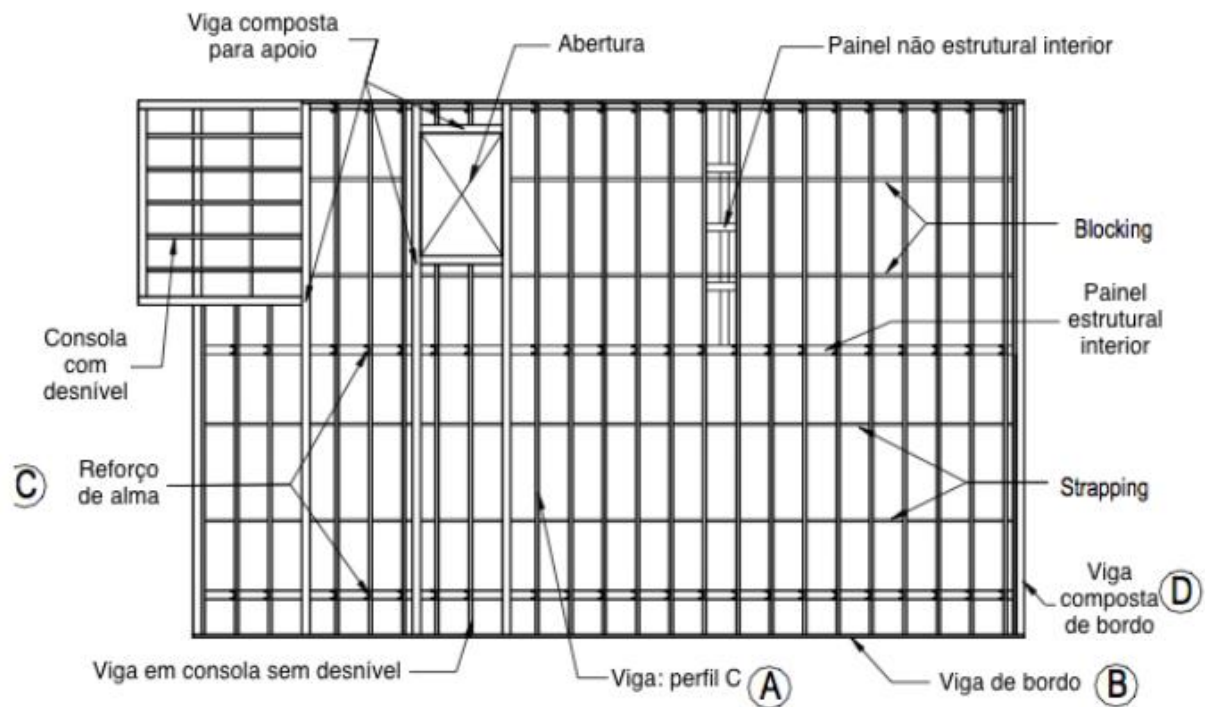


Figura 4.16- Planta dos elementos principais em LSF (Rego,2012)

Os elementos estruturais que compõem o piso são, como mostra a figura 4.12, os seguintes:

- Viga composta por perfil C
- Guia (perfil em U que une todas as vigas no seu extremo)
- Reforço de alma - que é um perfil em C disposto na vertical para aumentar a rigidez da alma a ser reforçada
- Strapping e Blocking que conferem travamento às vigas de piso



Figura 4.17- Piso estrutural com placa OSB superior já colocada (Site Futureng)

- **VIGAS COMPOSTAS**

As vigas compostas são peças constituídas por perfis aparafusados entre si. Conferem ao pavimento grande resistência localizada por metro linear e maior estabilidade lateral do que uma peça simples que pudesse ter a mesma resistência e flexibilidade. As vigas compostas são particularmente adequadas em casos de vãos elevados, pois permitem um incremento significativo de resistência sem necessidade de aumento da sua altura. Tal resulta do facto de, ao se empregarem perfis acoplados “back-to-back”, existir uma duplicação da espessura da alma, reduzindo a sua esbelteza e aumentando conseqüentemente as suas propriedades efetivas, dado que se tratam de secções da classe 4. Por outro lado, este tipo de junção de perfis de forma simétrica, conduz a que o centro de corte se situe sobre o centro de gravidade, anulando o esforço de torção associado e melhorando significativamente o comportamento face a instabilidade distorcional.

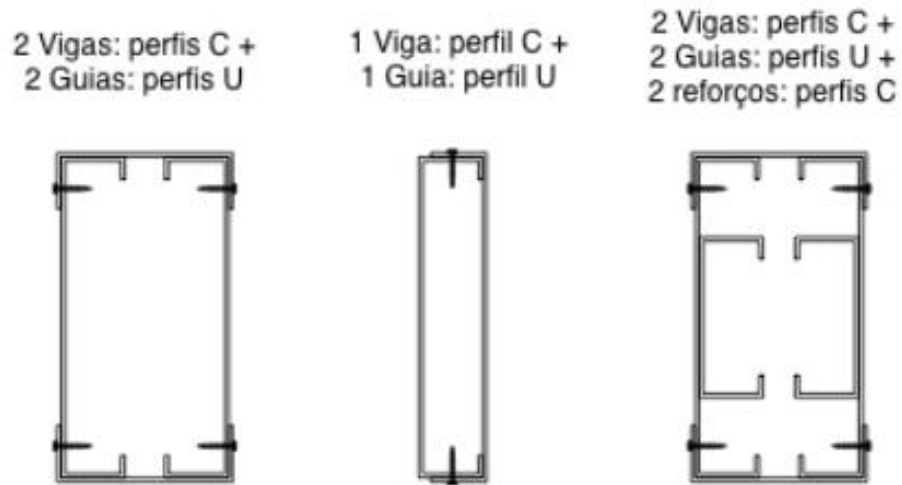


Figura 4.18- Vários tipos de vigas compostas por perfis (Rego,2012)

- **CONDIÇÕES DE APOIO**

As figuras 4.15 e 4.16 apresentam apoios de extremidade e de continuidade assim como a disposição dos parafusos e reforços habitualmente usados para realizar os apoios.

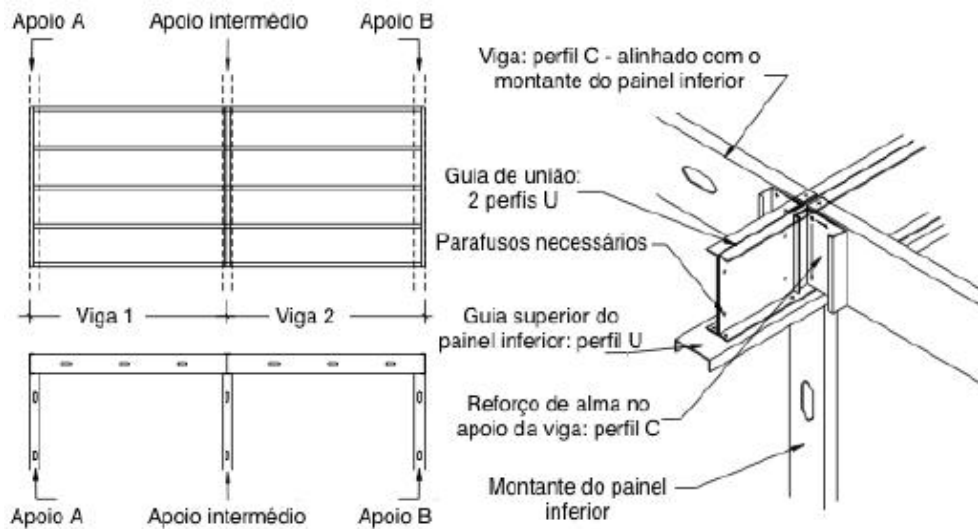


Figura 4.19- Planta, alçado e pormenor de uma viga simplesmente apoiada (Rego, 2012)

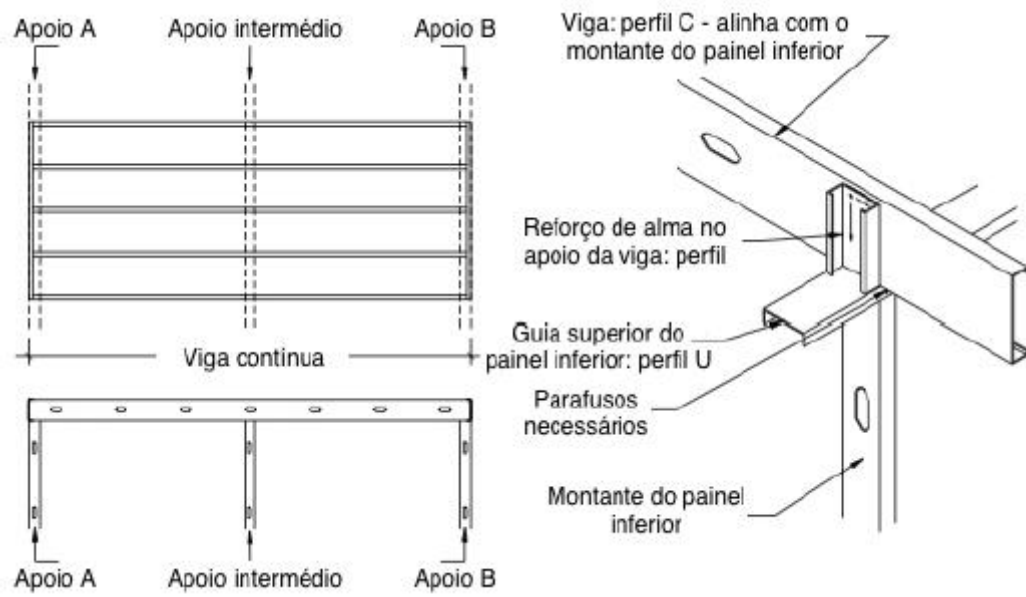


Figura 4.20- Planta, alçado e pormenor de uma viga contínua (Rego, 2012)

4.2 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA EM LIGTH STEEL FRAMING

4.2.1- QUANTIFICAÇÃO DE AÇÕES NA ESTRUTURA EM LSF

4.2.1.1- AÇÕES PERMANENTES

As ações permanentes na estrutura são o resultado da soma do peso próprio (P.P) da estrutura e das restantes cargas permanentes (R.C.P).

As ações permanentes do pavimento são as seguintes:

Quadro 4.1- Ações Permanentes em pavimentos interiores

| Materiais | P.P [kN/m ²] | RCP [kN/m ²] |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Perfil metálico- C200//60 | 0,049 | - |
| Placa OSB | 0,076 | |
| Lã de Rocha | 0,138 | |
| Revestimento | | 0,7 |
| Gesso Cartonado | | 0,147 |
| Total | 1,13 kN/m² | |

As ações permanentes da cobertura são as seguintes:

Quadro 4.2- Ações Permanentes em coberturas

| Materiais | P.P [kN/m ²] | RCP [kN/m ²] |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Perfil metálico- C200//60 | 0,049 | |
| Placa OSB | 0,096 | |
| Lã de Rocha | 0,138 | |
| Revestimento | | 0,7 |

| | |
|--------------------|------------------------|
| Gesso Cartonado | 0,147 |
| Tela asfáltica | 0,039 |
| Telha lusa | 0,43 |
| Isolamento térmico | 0,25 |
| Total | 1,84 kN/m ² |

4.2.1.2- SOBRECARGAS

As sobrecargas presentes na estrutura em LSF são exatamente as mesmas observadas e quantificadas para a estrutura em betão indicadas no Quadro 2.3.

4.2.1.3- VENTO

Como ambos os edifícios têm a mesma forma e localização a ação do vento é a mesma que foi determinada para a estrutura em betão armado como se pode verificar em 2.1.5.

4.2.1.4- NEVE

O método prescritivo assume sempre a existência de neve como ação acompanhante e que é superior à ação de neve atendendo à localização e exposição da estrutura.

4.2.1.5- VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Como a estrutura em LSF é constituída por vários subsistemas aparafusados uns aos outros, as pequenas folgas existentes entre eles no local de união, permitem acomodar as variações de comprimento induzidas na estrutura pela variação de temperatura, logo os esforços resultantes desta ação são de ordem de grandeza baixa logo não serão contemplados.

4.2.1.6- AÇÃO SÍSMICA

Como ambos os edifícios têm a mesma forma e localização a ação sísmica é a mesma que foi determinada para a estrutura em betão armado como se pode verificar em 2.1.6.

4.2.1.7- SITUAÇÕES DE PROJETO E COMBINAÇÃO DE AÇÕES

O presente dimensionamento é realizado para as situações de projeto persistente e transitória, para as ações de base relevantes, o vento e a sobrecarga, e a situação de projeto sísmica. A neve foi tida em conta como ação acompanhante.

No dimensionamento adota-se o método prescritivo, como se verá adiante, e que é omissivo quanto aos ELS por deformação. Por isso irá realizar-se uma verificação de segurança explícita às deformações verticais e horizontais.

Para o caso da estrutura em LSF as situações de projeto e as combinações a elas associadas para estados limites últimos são as mesmas que as do edifício com estrutura em betão armado, anteriormente referidas. Apenas existem diferenças quanto aos estados limites de serviço por deformação excessiva e por vibração.

A verificação de segurança aos Estados Limites de Serviço por deformação excessiva de lajes e vigas constitui em limite a flecha máxima ($\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_0$) para a seguinte combinação de ações:

$$G_k + Q_{k1} + \sum \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (2.18)$$

e ainda limitar o acréscimo de flecha δ_2 associada à atuação da sobrecarga:

$$Q_{k1} + \sum \psi_0 Q_{ki} \quad (2.19)$$

Os limites máximos δ_{max} e δ_2 são os da Figura 2.12 e que podem ser interpretados na Figura 2.13. Em serviço há ainda que limitar o deslocamento horizontal no topo do edifício a um máximo de $H/500$, entre pisos a $H_0/300$ para a combinação de ação:

$$G_k + Q_k + \sum \psi_0 Q_k \quad (2.20)$$

| Condições | Limites (ver a Figura NA.I) | |
|---|-----------------------------|------------|
| | δ_{max} | δ_2 |
| Coberturas em geral | L/200 | L/250 |
| Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção | L/250 | L/300 |
| Pavimentos em geral | L/250 | L/300 |
| Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis ou divisórias não flexíveis | L/250 | L/350 |
| Pavimentos que suportem colunas (a não ser que o deslocamento tenha sido incluído na análise global para o estado limite último) | L/400 | L/500 |
| Quando δ_{max} possa afectar o aspecto do edifício | L/250 | - |
| <i>NOTA: No caso geral, L representa o vão da viga. No caso de vigas em consola, L representa duas vezes o vão real da consola.</i> | | |

Figura 4.21 –NA.I- Valores recomendados para os limites dos deslocamentos horizontais

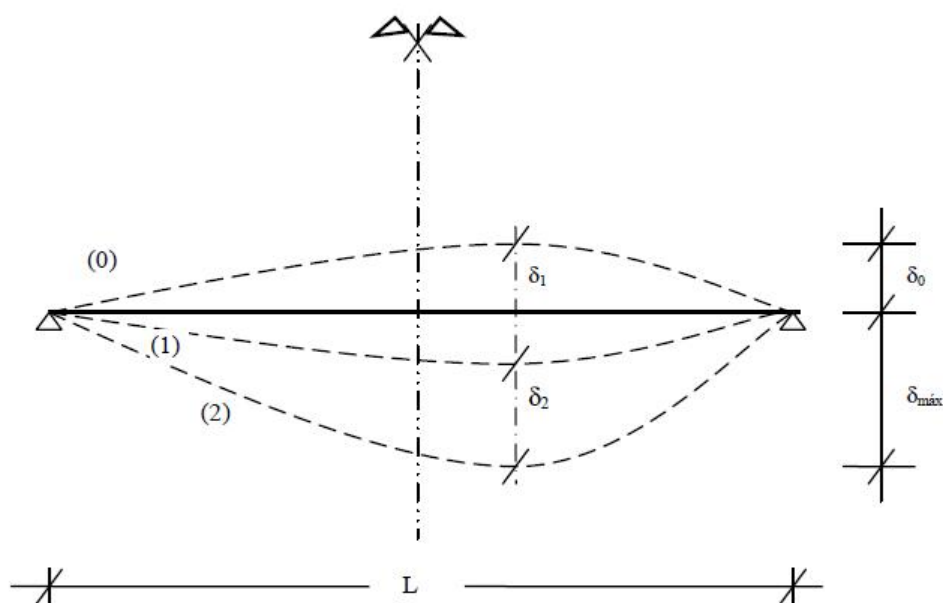


Figura 4.22– Legenda do Quadro NA.I

Após leitura de todos os deslocamentos verticais para as dadas combinações de ações, chegou-se à seguinte conclusão:

Quadro 4.3- Verificação de flechas

| | (m) | $L/200(m)$ | Valor máximo deslocamento vertical (m) | |
|-----------------------------------|-----|------------|--|----------|
| Maior vão de viga em LSF | 6 | 0,03 | 0,00092 | Verifica |
| Maior vão de laje em LSF | 8 | 0,04 | 0,00092 | Verifica |
| Maior vão de viga em betão armado | 6 | 0,03 | 0,00246 | Verifica |
| Maior vão de laje em betão armado | 8 | 0,04 | 0,00246 | Verifica |

Assim verificam-se as flechas máximas em vigas e em lajes.

4.2.1.8- ACELERAÇÕES MÁXIMAS

A verificação de segurança aos Estados Limites de Serviço por vibração excessiva consiste em limitar a frequência fundamental de vibração vertical para a combinação quase permanente de ações, a 3 Hz, segundo o artigo NA-7.2.3(1)B, presente no EC3-1-1.

4.2.2.-DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA COM RECURSO AO MÉTODO PRESCRITIVO

4.2.2.1- INTRODUÇÃO

O dimensionamento da estrutura de LSF, foi efetuado com base no Método Prescritivo, que é um método de dimensionamento expedito para projetar estruturas simples (um ou dois pisos) em aço enformado a frio. (Silvestre et al., 2013) É um método padronizado que visa a construção de habitações com recurso a estrutura metálica leve e à uniformização dos processos construtivos, contribuindo desta maneira para a promoção da aplicação do sistema construtivo LSF.

Em alternativa pode-se optar por um dimensionamento explícito de cada elemento estrutural o que é bastante trabalhoso.

Na presente dissertação aplicou-se o Método Prescritivo no âmbito de análises estruturais necessárias para o dimensionamento da estrutura. Estas análises foram para a situação de projetos persistente e transitória, cujas ações de base relevantes foram o vento e a sobrecarga, e a situação de projeto sísmica. A neve foi tida em conta como ação acompanhante.

4.2.2.2- VERIFICAÇÃO DOS REQUISITOS DE APLICABILIDADE DO MÉTODO PRESCRITIVO.

Características Geométricas da Habitação

- Dimensões: 12,6 x 8,5 = 107,1m²
- Pé Direito: 2,6m
- Espaçamento entre Vigas: 0,6m
- Inclinação Cobertura: 20°
- Beirado: 0,4m
- Painel OSB a aplicar em paredes com uma espessura de 12 mm
- Painel OSB a aplicar em pavimentos com uma espessura de 18 mm.

O Método Prescritivo apenas permite um adequado dimensionamento, se forem cumpridos vários requisitos, estando estes na figura seguinte:

| Categoria / Artigo | Límite |
|--|--|
| Geral | |
| • Dimensões do edifício | 18 x 11 m |
| • Número de pisos | 2 + 1 (cave) |
| • Velocidade do vento | 177 km/h (209 km/h, em rajada de 3s) |
| • Exposição ao vento | A-B urbana / arborizada C em campo aberto |
| • Neve | 3,35 kN/m ² |
| • Zonas sísmicas | A, B, C e D |
| Pavimento dos pisos | |
| • Peso próprio | 0,48 kN/m ² |
| • Sobrecarga | 1,92 kN/m ² no piso térreo 1,44 kN/m ² no 1º piso |
| • Extensão máxima em consola | 61 cm |
| Paredes | |
| • Peso próprio | 0,48 kN/m ² |
| • Pé direito | 3 m |
| Cobertura | |
| • Peso próprio | 0,72 kN/m ² |
| • Peso próprio (apenas revestimento) | 0,34 kN/m ² (zonas sísmicas 1, 2, 3) 0,43 kN/m ² (zona sísmica 4) |
| • Sobrecarga | 3,35 kN/m ² |
| • Peso próprio do teto | 0,24 kN/m ² |
| • Neve | 3,35 kN/m ² |
| • Inclinação da cobertura | 1:4 – 1:1 (14° - 45°) |
| • Consola do beirado | 61 cm paralelo ao declive 31 cm perpendicular ao declive |
| • Consola do beirado (peso próprio apenas do revestimento) | 0,34 kN/m ² 0,43 kN/m ² na zona sísmica 4 |
| • Sobrecarga no sótão | 0,96 kN/m ² sótão habitável 0,48 kN/m ² sótão não habitável |

Figura 4.23- Valores máximos de dimensões e ações admitidos para o método prescritivo

VERIFICAÇÃO DAS AÇÕES A CONSIDERAR

- Ação da Neve

Zonamento Z_3

Altitude

S_k

$$S = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_i \cdot S_k = 0,8 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,136 = 0,087 \text{ kN/m}^2 < 3,5 \text{ kN/m}^2$$

Neste trabalho adotou-se o valor de 1 kN/m², por conveniência do uso das tabelas do método prescritivo, além disso como esta ação é inferior à do vento foi sempre utilizada como ação acompanhante.

Ação do vento

Classe exposição vento: 113 km/h Classe B > 97 km/h regulamentares (27m/s)

Zona Sísmica; B

- Sobrecargas de utilização

Habituação

R/C; 2,0kN/m² 3,35 kN/m²

1º Andar; 2,0 kN/m² 3,35 kN/m²

Cobertura; 0,4 kN/m²

- Peso Próprio

Laje de piso

A laje de piso possui um peso próprio de 0,283 kN/m²

Laje de cobertura

A laje de cobertura possui um peso próprio de 0,303 kN/m²

4.2.2.3- DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DE PAVIMENTO

Tendo o edifício 8,5 m de largura e descontando as paredes externas e a parede interna o vão máximo a vencer será de 4,0 metros. Assim foi escolhido o perfil C200/1,5mm, tanto para o piso do R/C como do piso do 1º andar como se pode ver na tabela seguinte:

| Viga de pavimento | Sobrecarga - 1,44 kN/m ² | | | | Sobrecarga - 1,92 kN/m ² | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------------------|-----|-----|-----|
| | Espaçamento entre vigas (cm) | | | | Espaçamento entre vigas (cm) | | | |
| | 30 | 40 | 48 | 60 | 30 | 40 | 48 | 60 |
| C140/0,8 mm | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 3,2 | 2,9 | 2,7 | 2,5 |
| C140/1,1 mm | 3,9 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 3,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 |
| C140/1,5 mm | 4,1 | 3,8 | 3,5 | 3,3 | 3,8 | 3,4 | 3,2 | 3,0 |
| C140/1,7 mm | 4,4 | 4,0 | 3,8 | 3,5 | 4,0 | 3,7 | 3,5 | 3,2 |
| C140/2,5 mm | 4,9 | 4,5 | 4,2 | 3,9 | 4,5 | 4,1 | 3,8 | 3,6 |
| C200/0,8 mm | 4,8 | 4,1 | 3,7 | 3,4 | 4,3 | 3,7 | 3,4 | 2,8 |
| C200/1,1 mm | 5,2 | 4,7 | 4,4 | 4,1 | 4,7 | 4,3 | 4,0 | 3,7 |
| C200/1,5 mm | 5,6 | 5,1 | 4,8 | 4,4 | 5,1 | 4,6 | 4,3 | 4,0 |
| C200/1,7 mm | 6,0 | 5,5 | 5,1 | 4,7 | 5,5 | 5,0 | 4,7 | 4,3 |
| C200/2,5 mm | 6,7 | 6,1 | 5,7 | 5,3 | 6,1 | 5,5 | 5,2 | 4,8 |
| C250/1,1 mm | 6,2 | 5,7 | 5,2 | 4,6 | 5,7 | 5,1 | 4,6 | 4,1 |
| C250/1,5 mm | 6,7 | 6,1 | 5,7 | 5,3 | 6,1 | 5,6 | 5,2 | 4,9 |
| C250/1,7 mm | 7,2 | 6,6 | 6,2 | 5,7 | 6,6 | 6,0 | 5,6 | 5,2 |
| C250/2,5 mm | 8,1 | 7,3 | 6,9 | 6,4 | 7,3 | 6,7 | 6,3 | 5,8 |
| C300/1,1 mm | 7,1 | 6,2 | 5,6 | 5,1 | 6,4 | 5,5 | 5,1 | 4,1 |
| C300/1,5 mm | 7,8 | 7,1 | 7,2 | 6,0 | 7,1 | 6,5 | 6,6 | 5,3 |
| C300/1,7 mm | 8,4 | 7,6 | 7,2 | 6,7 | 7,6 | 7,0 | 6,6 | 6,1 |
| C300/2,5 mm | 9,4 | 8,6 | 8,1 | 7,5 | 8,6 | 7,8 | 7,3 | 6,8 |

Figura 4.24– Valores máximos admissíveis em vãos simples com reforços de apoio (Aço S235)

A Tabela da figura 4.19 indica os valores máximos admissíveis em vãos simples com reforços de apoio. O projeto cumpre com o estabelecido na Figura 2.

Revestimento do Piso

O piso é constituído por vários materiais tanto metálicos como não metálicos mas a sua escolha fica para o capítulo da térmica. Assim para efeitos estruturais a escolha do material recai sobre painéis de OSB-3 de 18mm em toda a área de pavimento menos nas zonas das instalações sanitárias pois para se adequar à presença de humidades é necessário um painel OSB Hidrófugo 18mm.

4.2.2.4 DIMENSIONAMENTO DOS MONTANTES

- Montantes do R/C

Intervém na escolha dos montantes a: velocidade e exposição ao vento e sobrecarga de neve. A velocidade do vento é de 113 km/h, a sua classe de exposição é da classe B, mas como no método prescritivo é obrigatório a consideração de uma sobrecarga de neve optou-se pela carga mais leve de 1,0 kN/m². Assim foi escolhido o perfil C90/ 0,8mm // 0,6m como se ilustra na figura seguinte. Esta tabela é aplicável a uma construção com um ou dois pisos e cobertura.

| velocidade do vento | | Perfil | // (cm) | Largura do edifício | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|--------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|
| | | | | 7,3 | | | | 8,5 | | | | 9,8 | | | | 11,0 | | | |
| Exp A | Exp B | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | |
| | | | | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 |
| 113 | | C90 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 |
| | | | 60 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 |
| 129 | 113 | C90 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | | | 60 | 1,1 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,7 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 145 | 129 | C90 | 40 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | | | 60 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,7 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,4 |

Figura 4.25 - Espessura mínima montantes (mm) – Parede de 2,7 m sujeita a carga de um piso, teto e cobertura; Piso térreo de edifício de 2 pisos. (Aço S235)

- Montantes do 1º Andar

As condições são as mesmas para a escolha dos montantes do R/C só que obtidas em outra tabela que tenha em consideração que o montante a escolher só tem de suportar um teto e uma cobertura. A figura seguinte representa a escolha dos perfis para montantes no 1º andar.

| velocidade do vento | | Perfil | // (cm) | Largura do edifício | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|--------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|---------------------------|-----|-----|-----|
| | | | | 7,3 | | | | 8,5 | | | | 9,8 | | | | 11,0 | | | |
| Exp A | Exp B | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | | Neve (kN/m ²) | | | |
| | | | | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 |
| 113 | | C90 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,1 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 129 | 113 | C90 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 145 | 129 | C90 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,4 |
| | | C140 | 40 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | | | 60 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

Figura-4.26 Espessura mínima montantes (mm) – Parede de 2,7 m sujeita apenas carga do teto e cobertura; edifício térreo ou 2º piso de edifício de 2 pisos. (Aço S230)

O revestimento de paredes é constituído por vários materiais tanto metálicos como não metálicos mas a sua escolha será feita no capítulo referente à análise térmica. Assim para efeitos estruturais a escolha do material recai sobre painéis de OSB-3 de 11mm.

4.2.2.5 DIMENSIONAMENTO DE VERGAS

- Verga do R/C (Figura 4.27)

As vergas do R/C para as portas e janelas serão iguais, pois têm sensivelmente a mesma medida. Se for adotada a medida maior, que é da sala, e que mede sensivelmente 1,6 metros, esta deverá ser constituída por um perfil C140 / 1,4.

A verga do portão da garagem por ser maior já irá necessitar de outro perfil. Com uma extensão de 2,40 m irá necessitar de uma verga com um perfil C200/1,7.

- Verga do 1º Andar (Figura 4.28)

As vergas das janelas do 1º andar são calculadas de maneira semelhante às do R/C diferindo só a tabela a que se recorre pois para o 1º andar só se tem de contabilizar o teto e a cobertura, como indicado na figura seguinte. Neste caso o perfil escolhido é o C90/ 1.7, pois tem uma distância a vencer de 1.6m.

| Verga | sobrecarga de neve 1,0 kN/m ² | | | | sobrecarga de neve 1,4 kN/m ² | | | |
|------------|--|------|------|------|--|------|------|------|
| | largura do edifício (m) | | | | largura do edifício (m) | | | |
| | 7,3 | 8,5 | 9,8 | 11 | 7,3 | 8,5 | 9,8 | 11 |
| C90 / 0,8 | 0,86 | 0,76 | 0,69 | - | 0,79 | 0,69 | - | - |
| C90 / 1,1 | 1,14 | 1,07 | 1,02 | 0,97 | 1,09 | 1,02 | 0,97 | 0,91 |
| C90 / 1,4 | 1,27 | 1,22 | 1,14 | 1,09 | 1,22 | 1,14 | 1,09 | 1,04 |
| C90 / 1,7 | 1,42 | 1,35 | 1,27 | 1,22 | 1,37 | 1,27 | 1,22 | 1,17 |
| C90 / 2,5 | 1,68 | 1,60 | 1,52 | 1,45 | 1,60 | 1,52 | 1,45 | 1,37 |
| C140 / 0,8 | 0,74 | 0,66 | - | - | 0,66 | - | - | - |
| C140 / 1,1 | 1,07 | 1,55 | 1,45 | 1,30 | 1,47 | 1,30 | 1,17 | 1,07 |
| C140 / 1,4 | 1,73 | 1,63 | 1,55 | 1,47 | 1,65 | 1,55 | 1,47 | 1,40 |
| C140 / 1,7 | 1,96 | 1,83 | 1,75 | 1,68 | 1,85 | 1,75 | 1,65 | 1,57 |
| C140 / 2,5 | 2,34 | 2,18 | 2,08 | 1,98 | 2,21 | 2,08 | 1,98 | 1,88 |
| C200 / 0,8 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C200 / 1,1 | 1,27 | 1,12 | 0,99 | 0,91 | 1,12 | 0,99 | 0,89 | 0,81 |
| C200 / 1,4 | 2,26 | 2,13 | 1,98 | 1,83 | 2,16 | 1,98 | 1,78 | 1,63 |
| C200 / 1,7 | 2,54 | 2,41 | 2,29 | 2,16 | 2,41 | 2,29 | 2,16 | 2,06 |
| C200 / 2,5 | 3,05 | 2,97 | 2,74 | 2,59 | 2,90 | 2,74 | 2,59 | 2,46 |

Figura 4.27– Vãos admissíveis em vergas que suportam cargas de 1 piso, teto e cobertura. Piso térreo de edifício de 2 pisos. Aço S235

| Verga | sobrecarga de neve 1,0 kN/m ² | | | | sobrecarga de neve 1,4 kN/m ² | | | |
|------------|--|------|------|------|--|------|------|------|
| | largura do edifício (m) | | | | largura do edifício (m) | | | |
| | 7,3 | 8,5 | 9,8 | 11 | 7,3 | 8,5 | 9,8 | 11 |
| C90 / 0,8 | 1,19 | 1,12 | 1,04 | 0,99 | 1,12 | 1,04 | 0,97 | 0,86 |
| C90 / 1,1 | 1,45 | 1,35 | 1,27 | 1,22 | 1,35 | 1,27 | 1,19 | 1,14 |
| C90 / 1,4 | 1,63 | 1,52 | 1,45 | 1,37 | 1,52 | 1,42 | 1,35 | 1,27 |
| C90 / 1,7 | 1,83 | 1,70 | 1,60 | 1,52 | 1,70 | 1,60 | 1,50 | 1,42 |
| C90 / 2,5 | 2,16 | 2,03 | 1,91 | 1,80 | 2,03 | 1,88 | 1,78 | 1,70 |
| C140 / 0,8 | 1,19 | 1,04 | 0,91 | 0,84 | 1,04 | 0,91 | 0,81 | 0,74 |
| C140 / 1,1 | 1,96 | 1,83 | 1,73 | 1,65 | 1,83 | 1,73 | 1,63 | 1,52 |
| C140 / 1,4 | 2,21 | 2,08 | 1,96 | 1,85 | 2,06 | 1,93 | 1,83 | 1,73 |
| C140 / 1,7 | 2,49 | 2,34 | 2,18 | 2,08 | 2,31 | 2,18 | 2,06 | 1,93 |
| C140 / 2,5 | 2,97 | 2,77 | 2,62 | 2,49 | 2,77 | 2,59 | 2,44 | 2,31 |

Figura 4.28– Vãos admissíveis em vergas que suportam cargas do teto e cobertura. Aço S235

- Montantes de Ombreira

De acordo com a Figura 4.29, todas os vãos utilizados na nossa moradia irão possuir um montante de ombreira e dois montantes normais.

| Vão | Espaçamento 60 cm | | Espaçamento 40 cm | |
|--------------------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| | Ombreira | Normais | Ombreira | Normais |
| Até 1,07 m | 1 | 1 | 1 | 1 |
| De 1,08 até 1,52 m | 1 | 2 | 1 | 2 |
| De 1,53 até 1,68 m | 1 | 2 | 2 | 2 |
| De 1,69 até 2,44 m | 1 | 2 | 2 | 2 |
| De 2,45 até 3,2 m | 2 | 2 | 2 | 3 |
| De 3,21 até 3,66 m | 2 | 2 | 3 | 3 |
| De 3,67 até 3,96 m | 2 | 3 | 3 | 3 |
| De 3,97 até 4,27 m | 2 | 3 | 3 | 4 |
| De 4,28 até 4,88 m | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Mais de 4,88 m | 3 | 3 | 4 | 4 |

Figura 4.29– Montantes necessários nos extremos de um vão (normais e de ombreira)

| Vão | Velocidade do vento, exposição e zona sísmica | | |
|--------------------|---|------------------------|------------------------|
| | 113 km/h exp Zona A | 144 km/h exp Zona A | 144 km/h exp Zona C |
| | Zonas B-D | 113 km/h exp Zona B | |
| Até 1,22 m | 4 x #8 | 4 x #8 | 6 x #8 |
| De 1,23 até 2,44 m | 4 x #8 | 4 x #8 | 8 x #8 |
| De 2,45 até 3,66 m | 4 x #8 | 6 x #8 | 10 x #8 |
| De 3,67 até 4,88 m | 4 x #8 | 8 x #8 | 12 x #8 |

Figura 4.30 - Requisitos mínimos de fixação da verga ao montante

4.2.2.6 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS DE COBERTURA

- Vigas de teto

A largura da moradia é de 8,5m, mas o vão máximo a considerar é de 4,2m (descontando o meio vão e as paredes exteriores). Assim na escolha dos perfis que compoem as vigas de teto tem que se ter em consideração que não possuem qualquer tipo de contraventamento, e por isso de acordo com a figura seguinte o perfil escolhido é: C200/1,1.

| Perfil | Contraventamento lateral da aba superior | | | | | |
|------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Inexistente | | 1/2 vão | | 3 pontos | |
| | // 40 cm | // 60 cm | // 40 cm | // 60 cm | // 40 cm | // 60 cm |
| C90 / 0,8 | 3,51 | 2,67 | 3,51 | 2,67 | 3,51 | 2,67 |
| C90 / 1,1 | 4,11 | 3,56 | 4,62 | 3,56 | 4,62 | 3,56 |
| C90 / 1,4 | 4,50 | 3,99 | 5,54 | 4,32 | 5,54 | 4,32 |
| C90 / 1,7 | 4,98 | 4,39 | 5,99 | 5,05 | 5,99 | 5,05 |
| C90 / 2,5 | 5,94 | 5,23 | 6,60 | 5,77 | 6,60 | 5,77 |
| | | | 0 | | | |
| C140 / 0,8 | 4,17 | 3,07 | 4,17 | 3,07 | 4,17 | 3,07 |
| C140 / 1,1 | 4,62 | 4,14 | 5,69 | 4,27 | 5,69 | 4,27 |
| C140 / 1,4 | 5,00 | 4,47 | 6,83 | 5,33 | 6,99 | 5,33 |
| C140 / 1,7 | 5,46 | 4,85 | 7,34 | 6,53 | 8,46 | 6,58 |
| C140 / 2,5 | 6,45 | 5,69 | 8,41 | 7,44 | 9,47 | 8,28 |
| C200 / 0,8 | - | - | - | - | - | - |
| C200 / 1,1 | 5,13 | 4,60 | 6,27 | 4,65 | 6,27 | 4,65 |
| C200 / 1,4 | 5,51 | 4,93 | 7,59 | 6,17 | 8,20 | 6,17 |
| C200 / 1,7 | 5,97 | 5,33 | 8,13 | 7,29 | 9,80 | 7,90 |
| C200 / 2,5 | 6,96 | 6,15 | 9,19 | 8,18 | 10,92 | 9,73 |

Figura 4.31 – Vãos máximos de vigas de teto de dois vãos sem reforço de apoio, sótão acessível.

- Vigas de cobertura

As vigas de cobertura são dimensionadas consoante as cargas que têm que suportar. O primeiro passo será converter a velocidade do vento na sua “ação estática” equivalente. O segundo passo consiste em adotar uma sobrecarga de neve que possa coexistir com a ação do vento. Como o sul de Portugal uma zona relativamente calma no que toca a severidade meteorológica a sobrecarga de neve adotada é de 1 kN/m² em toda a extensão da cobertura. Considerando os requisitos acima e de acordo com a Figura 4.31, dimensionou-se as vigas da cobertura como C140/1,7.

| Perfil | Sobrecarga de neve (kN/m ²) | | | | | | | |
|------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1,0 | | 1,4 | | 2,4 | | 3,4 | |
| | // 40 cm | // 60 cm | // 40 cm | // 60 cm | // 40 cm | // 60 cm | // 40 cm | // 60 cm |
| C140 / 0,8 | 3,86 | 3,15 | 3,58 | 2,92 | 3,02 | 2,46 | 2,69 | 2,18 |
| C140 / 1,1 | 4,70 | 3,84 | 4,34 | 3,56 | 3,68 | 3,00 | 3,25 | 2,67 |
| C140 / 1,4 | 3,96 | 4,32 | 4,90 | 3,99 | 4,17 | 3,40 | 3,68 | 3,00 |
| C140 / 1,7 | 5,51 | 4,83 | 5,26 | 4,50 | 4,67 | 3,81 | 4,11 | 3,38 |
| C140 / 2,5 | 6,12 | 5,33 | 5,82 | 5,08 | 5,21 | 4,27 | 4,75 | 4,01 |
| C200 / 0,8 | 4,70 | 3,48 | 4,37 | 3,00 | 3,23 | 2,16 | 2,51 | 1,68 |
| C200 / 1,1 | 5,82 | 4,75 | 5,41 | 4,42 | 4,60 | 3,73 | 4,04 | 3,28 |
| C200 / 1,4 | 6,88 | 5,61 | 6,40 | 5,21 | 5,41 | 4,42 | 4,80 | 3,91 |
| C200 / 1,7 | 7,49 | 6,32 | 7,11 | 5,87 | 6,10 | 4,98 | 5,38 | 4,39 |
| C200 / 2,5 | 8,31 | 7,24 | 7,92 | 6,91 | 7,09 | 5,97 | 6,48 | 5,28 |
| C250 / 1,1 | 6,45 | 5,26 | 5,99 | 4,88 | 5,08 | 3,99 | 4,50 | 3,12 |
| C250 / 1,4 | 7,65 | 6,25 | 7,09 | 5,79 | 6,02 | 4,29 | 5,31 | 4,34 |
| C250 / 1,7 | 8,99 | 7,47 | 8,46 | 6,93 | 7,21 | 5,87 | 6,40 | 5,21 |
| C250 / 2,5 | 9,75 | 8,74 | 9,53 | 8,31 | 8,53 | 7,06 | 7,65 | 6,25 |

Figura 4.32 - Vãos máximos em planta, em vigas de cobertura

- Ligação entre vigas de cobertura e vigas de teto

A ligação entre vigas de cobertura e vigas de teto deve ser assegurada por via de parafusos cuja quantidade e tipo dependem da inclinação do telhado tal como a largura do edifício e a sobrecarga de neve. A Figura 4.32 ilustra o dimensionamento destas ligações. Como a inclinação da cobertura do meu edifício se situa sensivelmente nos 20° e (4/12)=18,43° e (5/12)=22,62°, teria de optar pela solução intermédia às duas, mas como não existe solução intermédia opto por segurança pela opção mais gravosa que serão 5 parafusos #10 nas ligações.

| Inclinação da cobertura | Largura do edifício (m) / Sobrecarga de neve (kN) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| | 7,3 | | | | 8,5 | | | | 9,8 | | | | 11,0 | | | |
| | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 3,4 |
| 3/12 | 5 | 6 | 9 | 12 | 6 | 7 | 10 | 13 | 7 | 8 | 12 | 15 | 8 | 9 | 13 | 17 |
| 4/12 | 4 | 5 | 7 | 9 | 5 | 6 | 8 | 10 | 6 | 6 | 9 | 12 | 6 | 7 | 10 | 13 |
| 5/12 | 4 | 4 | 6 | 7 | 4 | 5 | 7 | 9 | 5 | 5 | 8 | 10 | 5 | 6 | 9 | 11 |
| 6/12 | 3 | 4 | 5 | 7 | 4 | 4 | 6 | 8 | 4 | 5 | 7 | 9 | 4 | 5 | 7 | 10 |
| 7/12 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | 7 | 4 | 4 | 6 | 8 | 4 | 5 | 7 | 9 |
| 8/12 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | 7 | 4 | 4 | 6 | 8 |
| 9/12 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 6 | 3 | 4 | 5 | 6 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| 10/12 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| 11/12 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 12/12 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 3 | 4 | 6 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Figura 4.33 -Número de parafusos #10 nas ligações entre vigas de cobertura e teto

4.3. Avaliação térmica

Apresentam-se pormenores construtivos que servem de base ao projeto de avaliação do comportamento e do desempenho térmico realizado. O projeto em causa encontra-se em anexo.

4.3.1 Envoltente Exterior

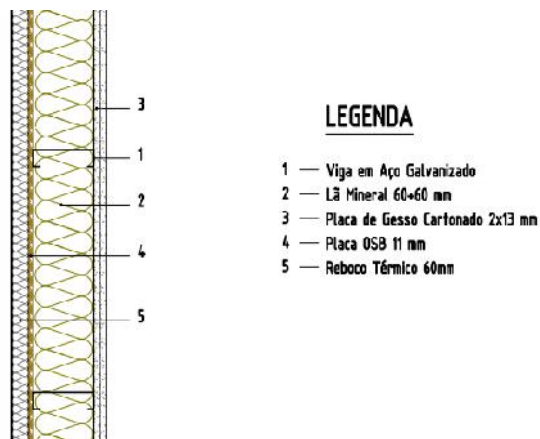


Figura 4.34- Envoltente exterior da construção em LSF (Adaptado Futureng)

A envoltente exterior da solução de LSF é composto por viga em aço galvanizado com duas folhas de lã de rocha no seu interior que perfazem um total de 0,12m de espessura, placa OSB de 0,011m, ETICS pelo exterior com 0,06mm e duas placas de gesso cartonado pelo interior. $U_{\text{Envoltente exterior}} = 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.3.2 Envoltente Interior

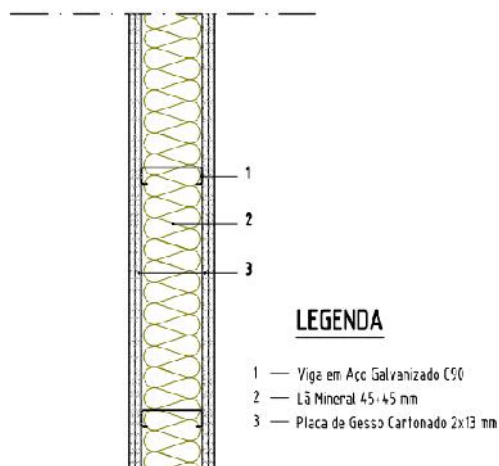


Figura 4.35- Envoltente interior LSF (Adaptado Futureng)

A envoltente interior da solução de LSF é composta por viga em aço galvanizado com duas folhas de lã de rocha no seu interior que perfazem um total de 0,12m de espessura e duas placas de gesso cartonado. $U_{\text{Envoltente interior}} = 0,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.3.3 Cobertura Inclinada

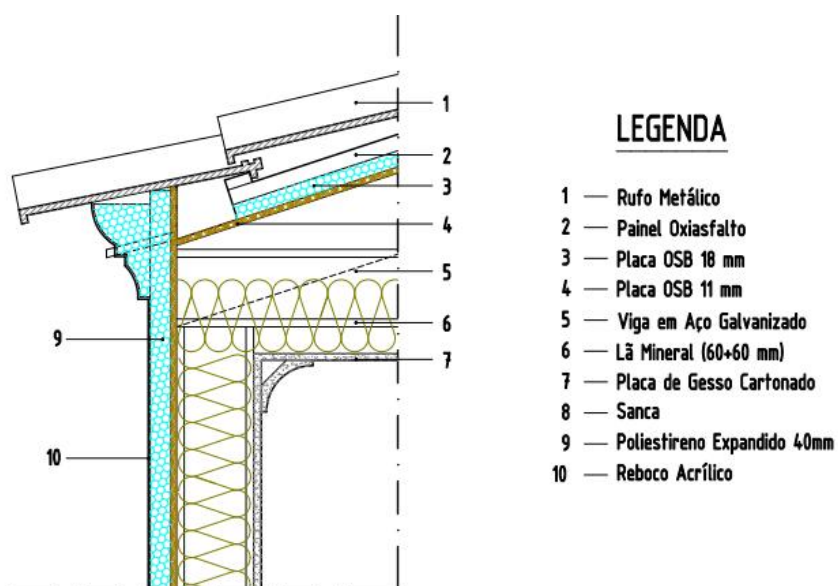


Figura 4.36- Cobertura inclinada LSF (Adaptado de Futureng)

A cobertura inclinada da solução de LSF é composta por rufo metálico, painel de oxiasfalto, duas placas de OSB de 0,18 e 0,11 m de espessura viga em aço galvanizado com duas folhas de lã de rocha no seu interior que perfazem um total de 0,12m de espessura e duas placas de gesso cartonado. $U_{\text{Cobertura inclinada}} = 0,19 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.3.4 Vãos Envidraçados

O vão envidraçado vertical exterior, localizado na fachada, é de abertura de correr com caixilho simples metálico com corte térmico e sem quadricula, com neutro cool-lite ST 150 6mm+12mmAr+6mm, permeabilidade ao ar: classe 3, proteção solar interior com cortina opaca de cor clara.

Quadro 4.4- Área de envidraçados segundo as várias vertentes

| Área Envidraçados (m ²) | |
|-------------------------------------|-------|
| Vertente Norte | 13,58 |
| Vertente Sul | 4,7 |

4.4 Resumo Estudo Térmico

Quadro 4.5- Resumo da avaliação térmica da solução de Light Steel Framing

| Fração | Tx. ren (RPH) | N _{ic} (kWh/m ² .ano) | N _i (kWh/m ² .ano) | N _{vc} (kWh/m ² .ano) | N _v (kWh/m ² .ano) | Q _a (kWh/m ² .ano) | N _{tc} (kWh/m ² .ano) | N _t (kWh/m ² .ano) | E _{ren,p} (kWh/.ano) |
|--------|------------------|--|---|--|---|---|--|---|----------------------------------|
| LSF | 0,42 | 40,05 | 36,31 | 2,27 | 18,97 | 2377 | 147,07 | 153,54 | 0 |

Com estes valores obteve-se a seguinte classificação energética da habitação:



Figura 4.37- Classificação energética da habitação

4.5 ESTIMATIVA DE QUANTIDADES DE MATERIAL E ORÇAMENTO

A estimativa de material necessária foi elaborada segundo o mapa de medições efetuado.

O preço apresentado foi elaborado mediante a apresentação de um conjunto de preços dos materiais que de seguida se calculou o preço por metro quadrado de construção, após algumas pesquisas na internet, sempre foi algo dificultado o valor da mão de obra.

Os preços obtidos para os materiais já incluem o valor da mão-de-obra.

Quadro 4.6- Quantidade de Material e Preço

| Elemento | Quantidade (m ²) | Preço (€/m ²) | Subtotal (€) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| Ensoleiramento Geral | 115,6 | 150 | 17340 € |
| Paredes exteriores (§4.3.1) | 204,35 | 60 | 12261 € |
| Paredes Interiores (§4.3.2) | 106,29 | 40 | 4251,6 € |
| Laje de piso térreo | 88,2 | 42 | 3704,4 € |
| Laje de piso | 79,66 | 45 | 3584,7 € |
| Cobertura (§4.3.3) | 126,75 | 50 | 6337,5 € |
| Total | | | 47479,2 € |

5. Balanço Económico entre os dois sistemas de Construção.

De modo a que se possa comparar a performance entre os sistemas de construção há que ter por base pontos comuns que são os seguintes:

- Prazo de execução
- Custo da construção da estrutura, pisos e sua envolvente.
- Eficiência energética da solução.

5.1 Prazo de execução

A solução em betão armado necessita de mais tempo de execução que a estrutura em LSF visto incorpora operações demoradas, que não existem na solução em LSF, nomeadamente a montagem e desmontagem de cofragens, execução de armaduras, e a abertura de roços para instalações hidráulicas e instalações elétricas, e conseqüente remoção de detritos. Além disso há que respeitar o tempo de presa do betão que em obras mais pequenas condiciona o avanço dos trabalhos.

O rendimento do método construtivo não é mais que o tempo estritamente necessário para construir um edifício. Assim, por comparação, o sistema de construção em betão armado possui uma grande desvantagem, pois, além de se ter de cofrar, armar e betonar, ainda se é obrigatório que se espere até que o betão adquira presa e se possa retirar o material que serve de escoras para essa mesma estrutura, o que impossibilita que se possam desenvolver trabalhos diretamente por baixo da peça que esteja a ser alvo de betonagem ou enquanto esteja a secar.

Visto ainda que toda a estrutura ser em betão armado ainda surge o problema que para que a estrutura seguinte seja edificada é necessário que a estrutura anterior já esteja concluída e que já tenham passado no mínimo 14 dias da sua cura. Ou seja, em primeiro lugar betonam-se as sapatas e vigas de fundação com os pilares de arranque e em seguida betona-se a laje do 1º piso. Posto isto betonam-se os pilares do 1º piso e após este é que se pode dar início à betonagem da laje do segundo andar e posteriormente a esta estar concluída inicia-se a betonagem da laje de cobertura, sendo que entre cada uma destas etapas se procede a um período de 14 dias de cura. Logo para se proceder à construção de toda a estrutura de betão armado é necessário um total de 70 dias.

Para o revestimento a alvenaria de acordo com as tabelas de rendimentos [30] foi verificado que o rendimento de aplicação de alvenaria era de 6,9 m² por dia de trabalho. Assim

multiplicando pela totalidade da área de alvenarias presentes na construção calcula-se que sejam necessários sensivelmente 44 dias para que estejam concluídas as alvenarias.

Sendo certo que quando uma viga está a ser betonada ou está em processo de cura não podem estar a decorrer trabalhos diretamente por baixo dela pois é necessário que estejam montados dispositivos que escorem e segurem essa mesma viga até que ela possa segurar o seu peso próprio, o que sugere que os trabalhos de execução de betão armado e execução de alvenarias não poderiam ser conduzidos em simultâneo, mas estando todo o rés-do-chão todo betonado e curado e estando já a betonar o 1º andar pode-se dar início a execução dos trabalhos de alvenaria no rés-do-chão, pois o tempo total da execução das duas tarefas situa-se entre a soma dos tempos de execução das duas tarefas, 114 dias, e o tempo de execução da estrutura de betão, 70 dias. Assim para efeitos de comparação o valor que vai ser utilizado para termos de comparação vai ser o de 70 dias, como está patente na figura 5.1

| | Mês 1 | | | | Mês 2 | | | | Mês 3 | | | | Mês 4 | | | |
|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Betonagem de Sapatas, vigas de fundação e pilares de arranque | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| Betonagem da laje do 1º piso | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Betonagem dos pilares do 1º piso | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Betonagem da laje do 2º piso | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| Aplicação do revestimento em Alvenaria | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |

Figura 5.1- Plano de Trabalhos para execução da estrutura no sistema de betão armado

A construção com recurso ao sistema em aço leve pode ser realizada das seguintes formas possíveis: (i) montagem da estrutura no local da obra a partir do elemento estrutural mais simples, (ii) construção de painéis estruturais em barras LSF em serralharia e seu transporte para a obra, e (iii) execução integral de módulos de paredes com instalações e isolamentos já incorporadas e ou de compartimentos integrais, a construção modular. Desde a primeira destas formas à última os tempos de execução, em termos da finalização da obra completa, são progressivamente menores, mas em qualquer delas menor que a construção tradicional em betão e alvenaria. Por outro lado os recursos a equipamentos de elevação e transporte são efetivamente inferiores. Outras vantagens deste sistema construtivo são a facilidade de instalação de redes (águas, eletricidade, etc) cujos sistemas são posicionados in situ sem necessitar de abrir roços, valas coretes, etc., sendo esta característica de enorme relevância em termos de tempo de execução de obra. No sistema em LSF a colocação das redes de

águas sujas está mais condicionada e é necessário a execução de tetos falsos atividade que não existe normalmente na construção tradicional.

O valor do rendimento do sistema de construção em LSF foi significativamente mais complicado de obter e foi através de um empreiteiro local que se chegou a um valor de 0,53 horas de trabalho/m². Multiplicando este valor pela quantidade de m² da construção chega-se ao valor em dias de trabalho necessários para edificar a estrutura em LSF que é de 33 dias. Como o sistema LSF não é um sistema faseado não existe a necessidade da elaboração de um plano de trabalhos pois cada função é independente da função anterior.

Assim como o tempo de construção em relação à estrutura de betão armado é bastante menor, possibilita o rápido usufruto do edifício e o rápido retorno do investimento, cujos encargos financeiros podem ser começar a ser amortizados mais cedo.

Quadro 5.1 – Tempo necessário para a construção da estrutura

| | Sistema Betão Armado [dias] | Sistema LSF [dias] |
|---|--------------------------------|-----------------------|
| Tempo necessário para a construção da estrutura | 70 | 33 |

A diferença é inferior à metade do tempo necessário a erguer a estrutura de betão armado o que faz aumentar os custos com o estaleiro e possibilita uma maior rapidez de entrega da obra ao dono.

5.2 Custo da construção da estrutura, pisos e envolvente

De acordo com os Capítulos do Dimensionamento da Estrutura em betão e em LSF a estimativa do orçamento das habitações é o seguinte:

Quadro 5.2- Resumo dos Orçamentos

| | Preço (€) |
|----------------------|-----------|
| Sistema Betão Armado | 45395 |
| Sistema LSF | 47479 |

É de salientar que o aumento de preço do sistema LSF se deve (i) à diversidade do tipo de materiais usados e custo desses materiais ser por enquanto elevados, (ii) à exigência de mão-de-obra mais adaptável a diversas tarefas distintas e adaptável ao uso de equipamentos mais específicos, e (iii) à "novidade" do sistema em Portugal, que se traduz pela menor concorrência, tanto nos materiais como na mão-de-obra.

5.3 Eficiência energética da solução

As necessidades energéticas nominais por ano de cada um dos sistemas foram calculadas em capítulos anteriores e resumem-se no seguinte quadro.

Quadro 5.3- Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc}

| | N_{tc} (kWh _{EP} /m ² .ano) |
|----------------------|--|
| Sistema Betão Armado | 175,76 |
| Sistema LSF | 147,07 |

Os valores do Quadro 5.2 traduzem-se no gasto de anual de energia de 30 kWh_{EP}/m² para a construção em betão e alvenaria, cerca de 16.5% maior que as necessidades energéticas para a solução em LSF. Isto traduz-se, para a solução tradicional, num aumento do custo elétrico em aquecimento e arrefecimento da habitação, na ordem dos 5,75 €/m² ano. No caso particular deste fogo com 100m² representa num gasto anual acrescido de 575€, que é, pensamos, um valor muito significativo.

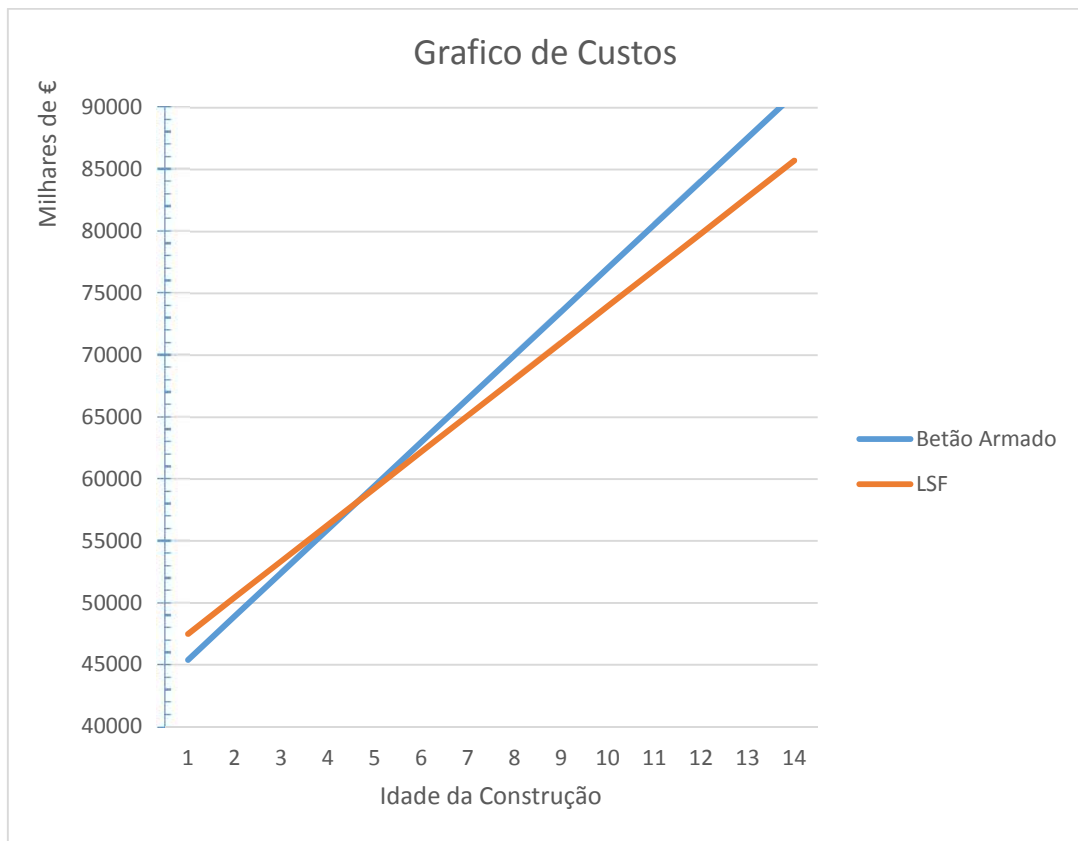


Figura 5.2- Gráfico que entra em consideração com os custos iniciais e com os custos de eletricidade de acordo com as necessidades de cada sistema de construção.

O Quadro 5.1 mostra-nos que o custo da solução em LSF foi superior 2084 € (5%) ao da solução tradicional. Porém a primeira tem menores gastos de utilização da energia anuais (535 €/ano) resulta que ao fim quatro anos os custos de construção e utilização são iguais, de que conclui que é compensadora a nova solução em LSF. A figura 5.1 mostra a evolução dos custos sem considerar juros financeiros.

Quadro 5.4- Comparação de gastos iniciais e a longo prazo entre sistemas construtivos

| | Sistema Betão Armado | Sistema LSF | Diferença de gastos entre Sistemas (€) | Sistema menos Dispendioso |
|---|----------------------------|----------------|---|---------------------------------|
| Valor inicial da construção (€) | 45395,8 | 47479,2 | 2083,36 | Betão Armado |
| Gasto anual com eletricidade para satisfazer o valor de N_{ic} (€) | 3515,2 | 2941,4 | 573,8 | LSF |
| Valor total ao fim de 1 ano (€) | 48911 | 50420,6 | 1509,56 | Betão Armado |
| Valor total ao fim de 5 anos (€) | 62971,8 | 62186,2 | 785,64 | LSF |
| Valor total ao fim de 10 anos (€) | 80547,8 | 76893,2 | 3654,64 | LSF |
| Valor total ao fim de 15 anos (€) | 98123,8 | 91600,2 | 6523,64 | LSF |

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.

6.1 CONCLUSÕES

As conclusões que retiro desta dissertação são as seguintes.

Antes de mais foi um tema aliciante pois permitiu-me aumentar os meus conhecimentos numa área pouco divulgada em termos académicos.

O estudo para ambas as soluções foi efetuado com base apenas nos elementos estruturais, nos elementos de fachada e de compartimentação interior. Os acabamentos interiores não foram contabilizados, sendo que ao optar por esta abordagem reconheço que possa estar a favorecer a solução de betão armado, porque nesta solução, é necessária a abertura e fechamento de roços para a instalação dos sistemas elétricos, rede de águas e esgotos, atividade que não existe na solução em LSF. Como se viu, da análise aqui efetuada, e confirmada por pessoas ligadas a este ramo, a solução em LSF, devido aos custos do material e da mão-de-obra, afirma-se como uma solução mais onerosa a curto prazo. Contudo, a médio prazo, tendo em conta os gastos energéticos afigura-se como a solução mais económica e mais "amiga" do ambiente.

Para se poder afirmar qual seria o orçamento exato para cada uma das soluções apresentadas, seria necessário orçamentar todas as atividades de cada uma das soluções. Tal afigurou-se não viável para o tempo disponível para esta dissertação, pelo número de atividades em si e pela relutância na cedência de infirmação por parte de alguns agentes económicos, nomeadamente os preços de mão-de-obra e duração de cada atividade.

Numa análise mais analítica a solução que melhor responde às questões económicas e de sustentabilidade do meio ambiente é a solução em LSF pois apesar de ter inicialmente um custo superior, a médio/longo prazo torna-se menos dispendiosa que a solução de betão armado. Além disso apresenta menos desperdícios e a maioria dos materiais são reutilizáveis, no fim de vida da estrutura.

6.2 - DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.

Com base na experiência que se obteve na elaboração desta dissertação e com as dificuldades intrínsecas à elaboração da mesma expõe-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Aumentar a quantidade e tipo de tipologias e de maneira que seja elegível o dimensionamento pelo método prescritivo
- Alargar o estudo para a inclusão da arte de acabamentos finos e instalações especiais

- A criação de uma base de dados com os tempos de execução de cada atividade, o que obrigaria o acompanhamento de várias obras da mesma natureza.
- A utilização de métodos computacionais para o mais rápido e fácil dimensionamento das estruturas em aço.

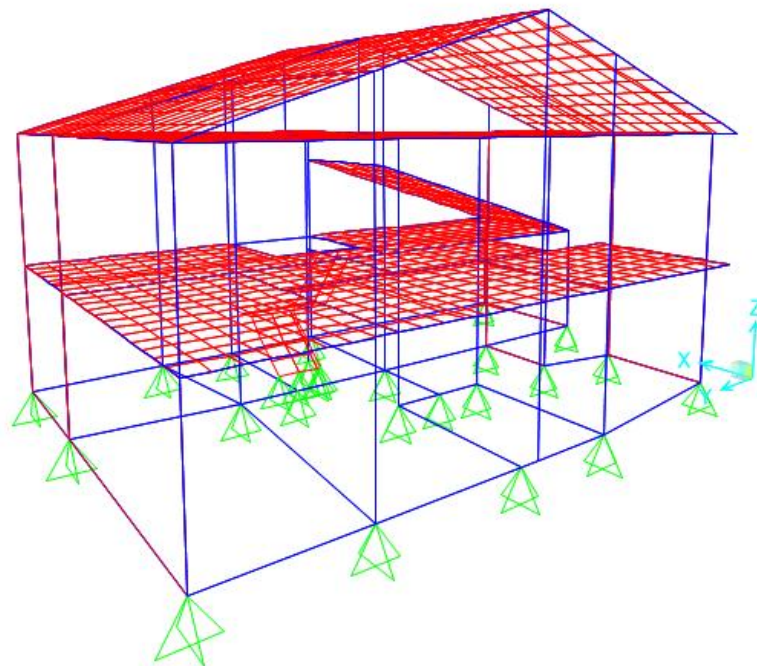
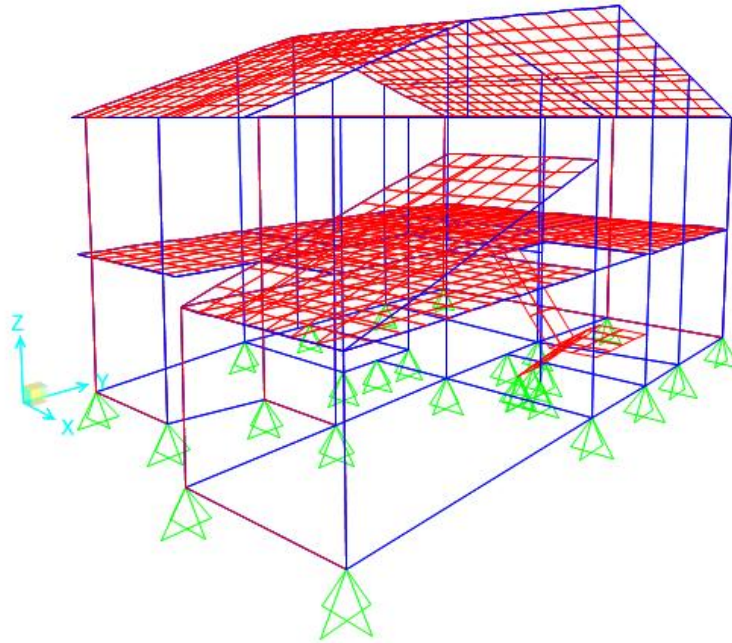
BIBLIOGRAFIA

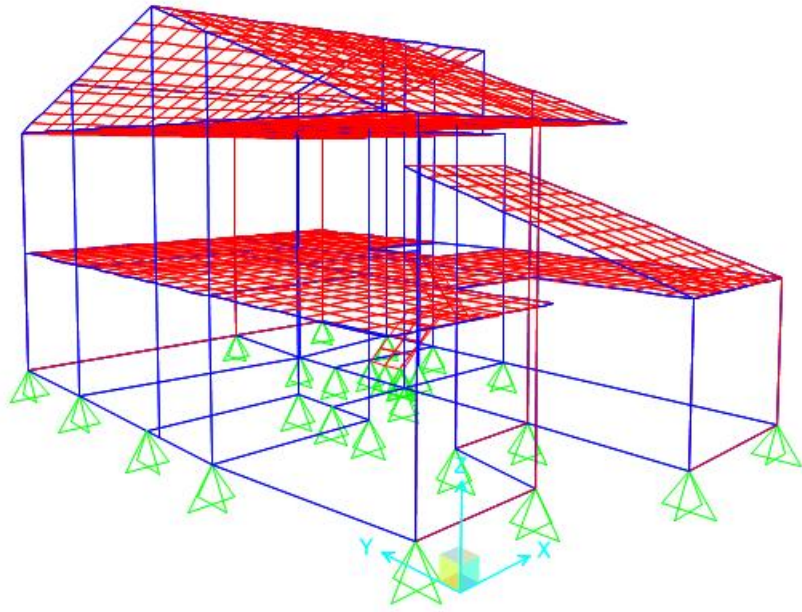
- [1] EN 1990. *Eurocode 0: Basis of structural design*. European Committee for Standardization. 2001
- [2] EN 1991-1-1. *Eurocode 1: Actions on Structures, General Actions*. European Committee for Standardization. 2009
- [3] EN 1991-1-4. *Eurocode 1: Actions on Structures, Wind Actions*. European Committee for Standardization. 2010
- [4] EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Design of Concrete Structures, General Rules and Rules for Buildings*. European Committee for Standardization. 2010
- [5] EN 1993-1. *Eurocode 3: Design of Steel Structures, General Rules and Rules for Buildings*. European Committee for Standardization. 2010
- [6] EN 1997-1. *Eurocode 7: Geotechnical Design, General Rules*. European Committee for Standardization. 2010
- [7] EN 1998-1. *Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance, General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings*. European Committee for Standardization. 2010
- [8] Rego, D. (2012). *Estruturas de Edifícios em Light Steel Framing*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.
- [9] Gouveia, D. (2015). *Solução Construtiva com Elementos Enformados a Frio*. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira.
- [10] Santos, C et al. (ano). *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Evolvente de Edifícios – ITE50*, LNEC, Lisboa.
- [11] Farias, J., *Estudo da Viabilidade Técnica e Económica do Uso do Método Construtivo Light Steel Framing numa Residência Unifamiliar de Baixa Renda*. Dissertação para obtenção do Grau de Engenheiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013
- [12] Gorgulho, A. *Betão Estrutural II*. 2012, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Apontamentos da disciplina de Betão Estrutural II.
- [13] André, A. *Tecnologia dos Edifícios*. 2012, Universidade do Algarve Apontamentos da disciplina de Tecnologia dos Edifícios.
- [14] Pires, J.M.F.S. (2015). *O método prescritivo na construção de moradias em aço leve*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.

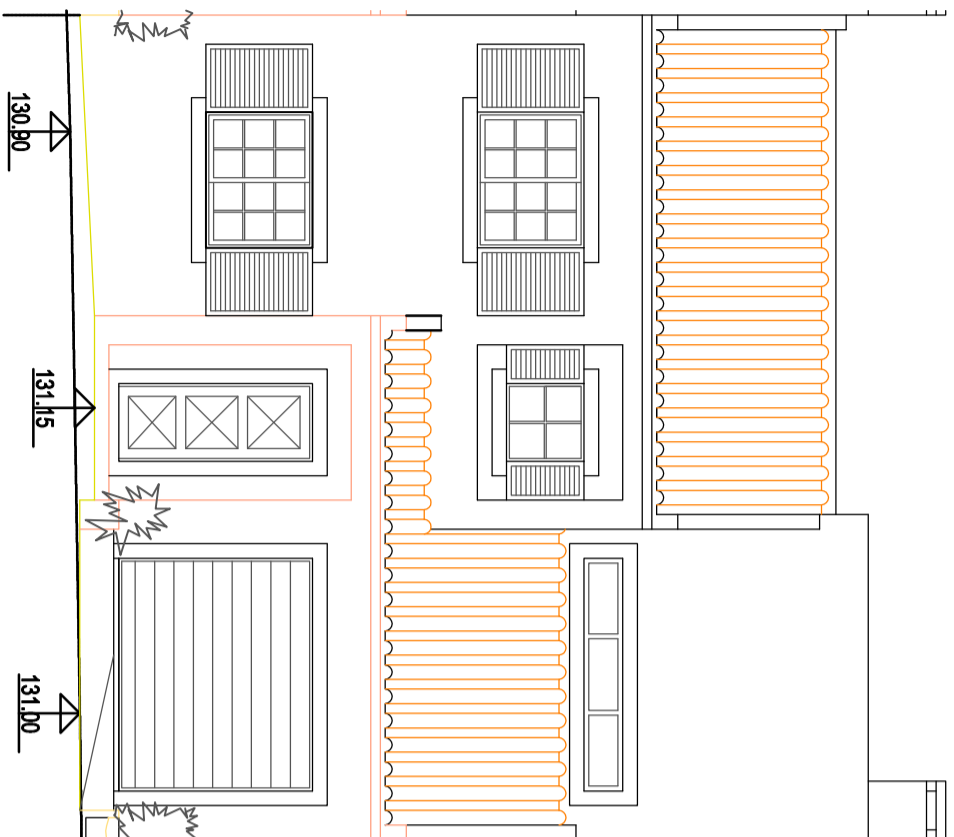
- [15] Machado, P.O.G.A. (2010). *Projecto de Estruturas de um Edifício*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico.
- [16] Reis, A.C., Farinha M.B.& Farinha, J. (2010). *Tabelas Técnicas*. Lisboa: Edições Técnicas E.T.L.,Lda
- [17] Neves, A.C.L.N, *Projecto de Fundações e Estrutura de um Edifício*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013
- [18] Crasto, R., C. M. *Arquitectura e Tecnologia em sistemas construtivos industrializados: Light Steel Framing*. Dissertação de Mestrado, 2005.
- [19] Elhajj, N. , Bielat, K. *Perspective method for residential cold-formed steel framing*. North American Steel Framing Alliance (NASFA),EUA. 2000.
- [20] Estêvão,J. Espectros de resposta- NP EN 1998-1_2010 – Versão Beta2.01
- [21] Consulsteel (Fevereiro 2015), Construcción com Acero Liviano, Obtido de www.Consulsteel.com
- [22]http://www.egger.com/imagr/_images/content_eurostrand_OSB2.jpg/932x.jpg. 09/05/2016
- [23]<http://futureng.wdfiles.com/local--resized-images/portfolio:parque-industrial-beja/10.jpg/medium.jpg>, 09/05/2016
- [24]<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/274/anexo/indice.pdf>, 12/05/2016
- [25]http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Estruturas/Betao_armado 19/05/2016
- [26]<https://novarq.wordpress.com/2015/11/30/light-steel-frame/> 24/05/16
- [27]<https://energia.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/> em 13/06/16
- [28]<http://www.knauf.pt/index.php/es/> 14/06/16
- [29]<http://www.ceramicatorreense.pt/pt/telhados/telha-lusa/especificacoes-tecnicas-telha-lusa> 03/10/16
- [30]<http://orcamentos.eu/preco-de-alvenaria-de-tijolo-30x20x11cm-e-argamassa-pronta-em-saco/> 10/11/16

Anexos

Alçados da estrutura em betão armado representada em SAP2000







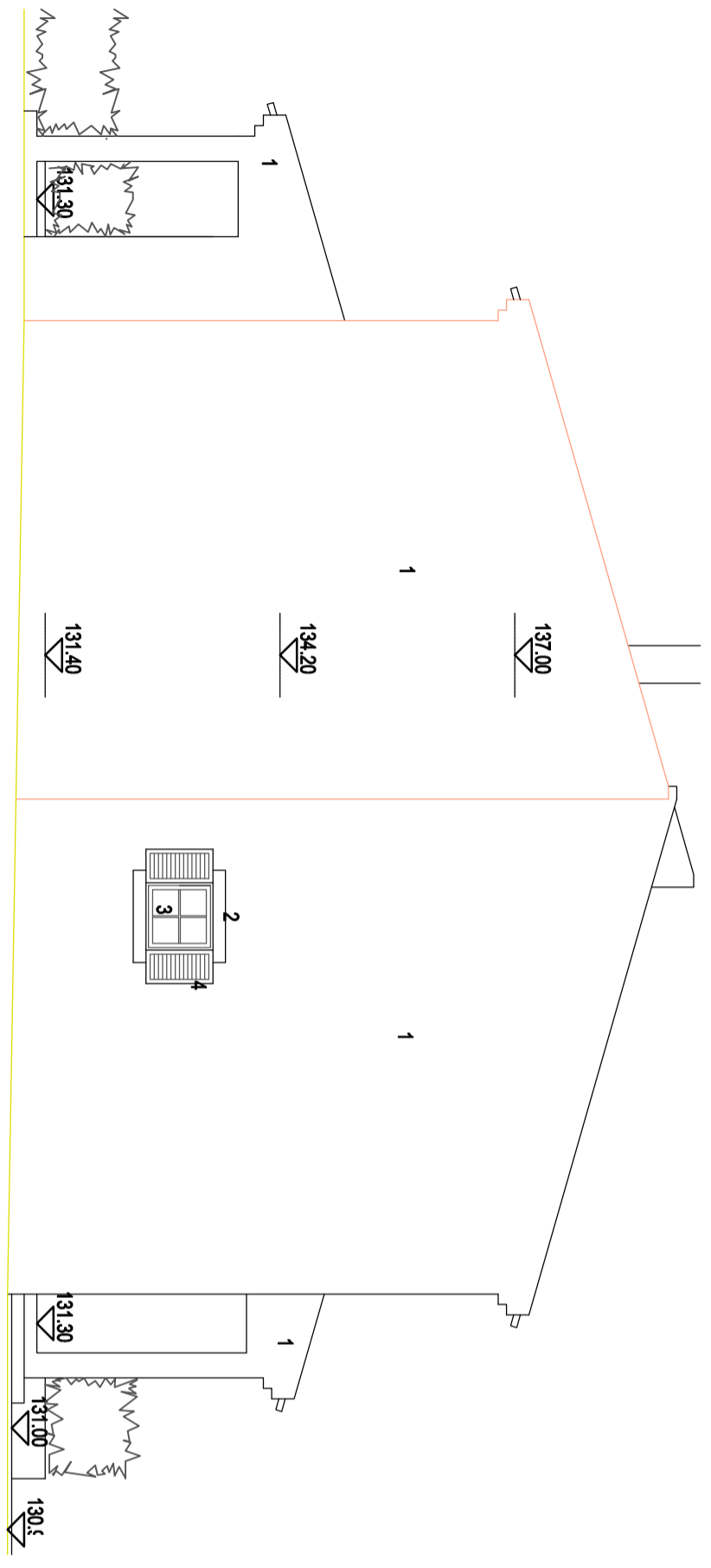
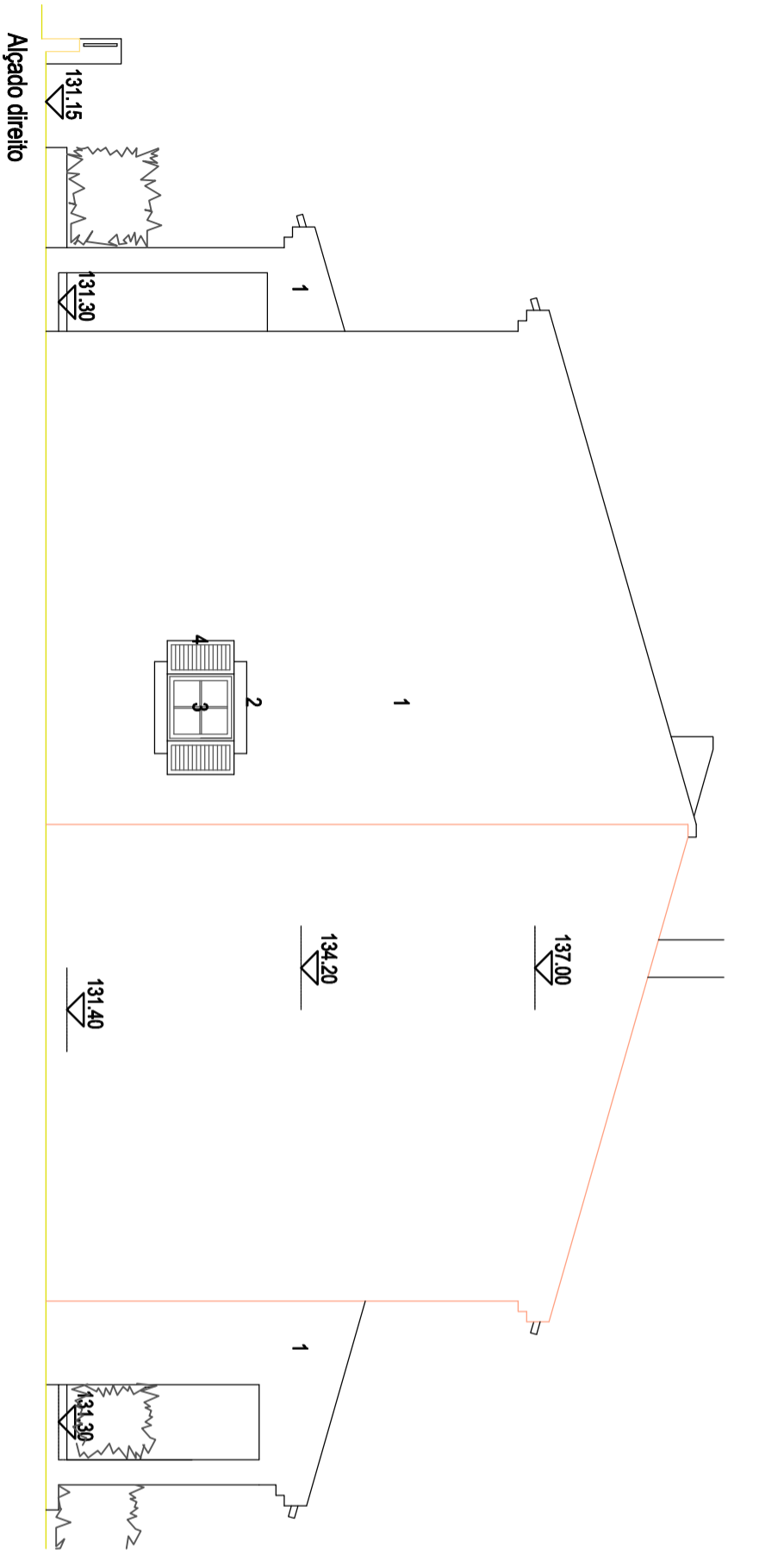
Fachada Sul



Fachada Norte

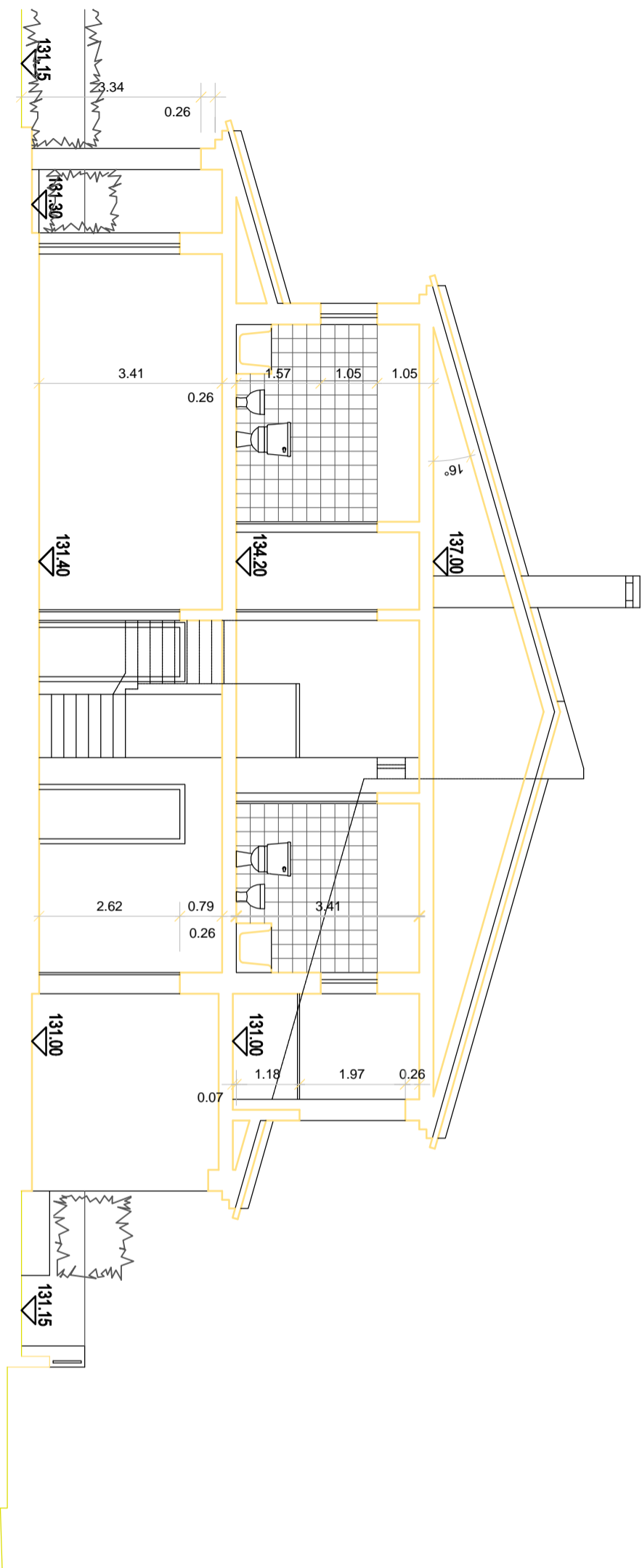
| | |
|--|---------------|
| MATERIAIS: | |
| Aço em geral: (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinárias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistência compressão Classe de exposição ambiental do betão no edifício | C30,37 XC2 |
| RECOMENDADO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO | |
| Laje | 3.0 cm |

| | | | |
|---|--|---|-------------|
| O Engenheiro Rui Miguel do Silveiro Andrade n.º32295 | | Requer: UNIVERSIDADE DO ALGARVE | |
| Local Santa Bárbara de Nexe | | Data do desenho Janeiro/15 | |
| Desig. | | Data da alteração | |
| Estudo comparativo entre construção tradicional e LSF | | Escalas 1/100 | Desenho N.º |



| MATERIAIS | |
|--|---------------|
| Aço em geral: (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinárias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistência compressão Classe de exposição ambiental do betão no edifício | C30,37 XC2 |
| RECORRIMENTO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO | |
| Laje | 3.0 cm |

| | | | |
|---|-----------------------|-------------------|-------|
| O Engenheiro Rui Miguel do Silveiro Andrade n.º12295 | | Projecto | |
| UNIVERSIDADE DO ALGARVE | | Janeiro/15 | |
| Local | Santa Bárbara de Nexe | Data do desenho | |
| Desig. | | Data da alteração | |
| Estudo comparativo entre construção tradicional e LSF | | Escalas | 1/100 |
| | | Desenho N.º | |



Corte A/B

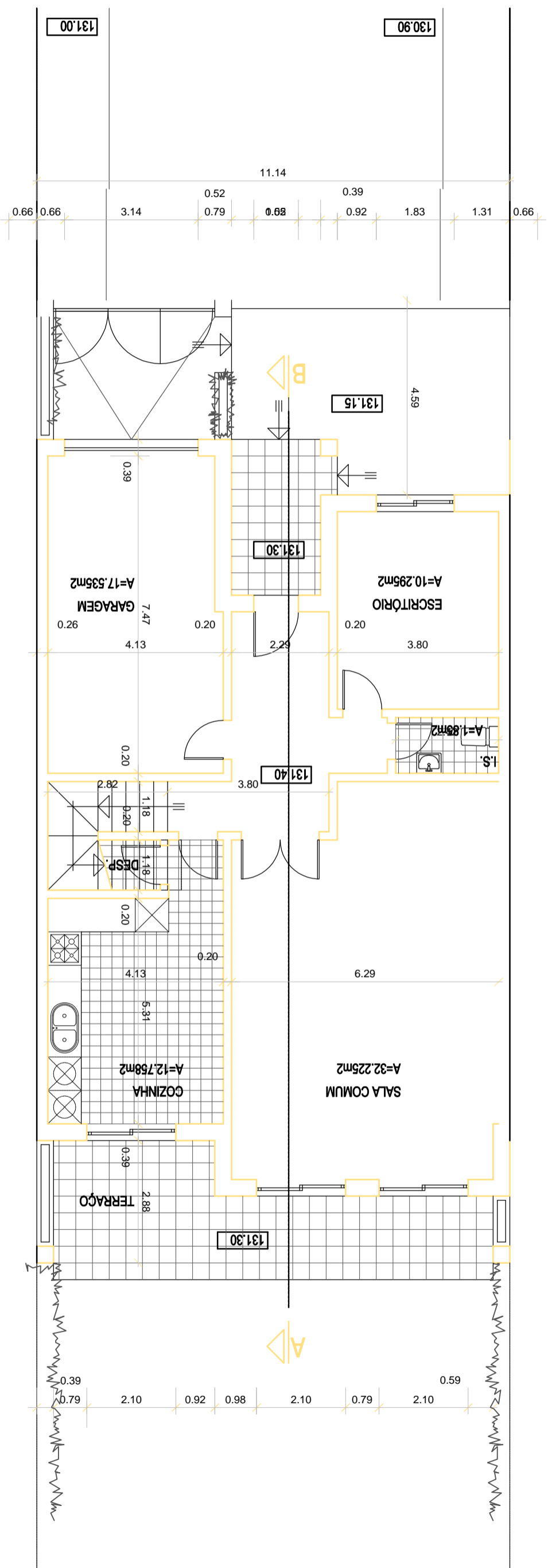
Corte A/R

| MATERIAIS | |
|--|---------------|
| Aço em geral: (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinárias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistência compressão Classe de exposição ambiental do betão no edifício | C30,37 XC2 |

**RECOBRIMENTO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS
ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO**

| | |
|------|--------|
| Laje | 3.0 cm |
|------|--------|

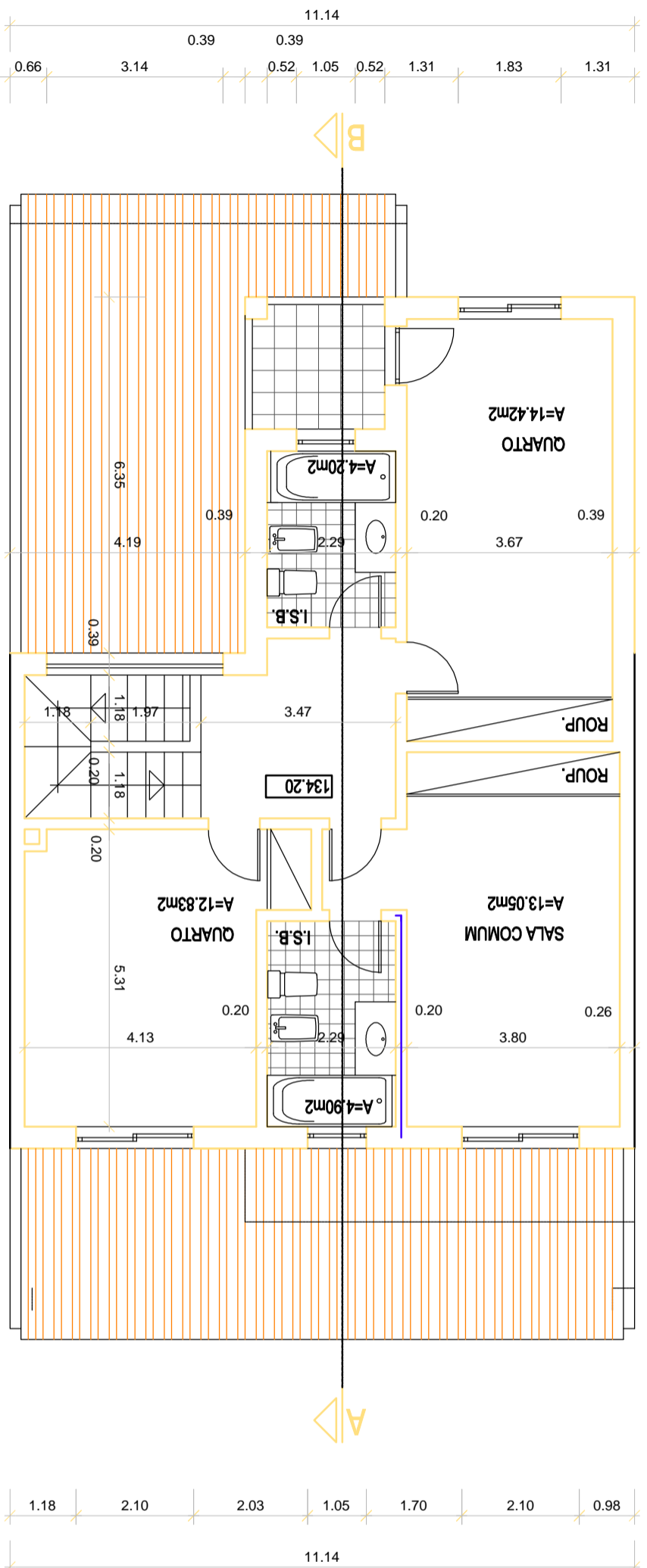
| | | | | | |
|---|--|---|--|-------------|--|
| O Engenheiro Rui Miguel do Silveiro Andrade n.º12295 | | Requer: UNIVERSIDADE DO ALGARVE | | Projeto | |
| Local Santa Bárbara de Nexe | | Data do desenho Janeiro/15 | | Escalas | |
| Desig. | | Data da alteração | | 1/100 | |
| Estudo comparativo entre construção tradicional e LSF | | | | Desenho N.º | |



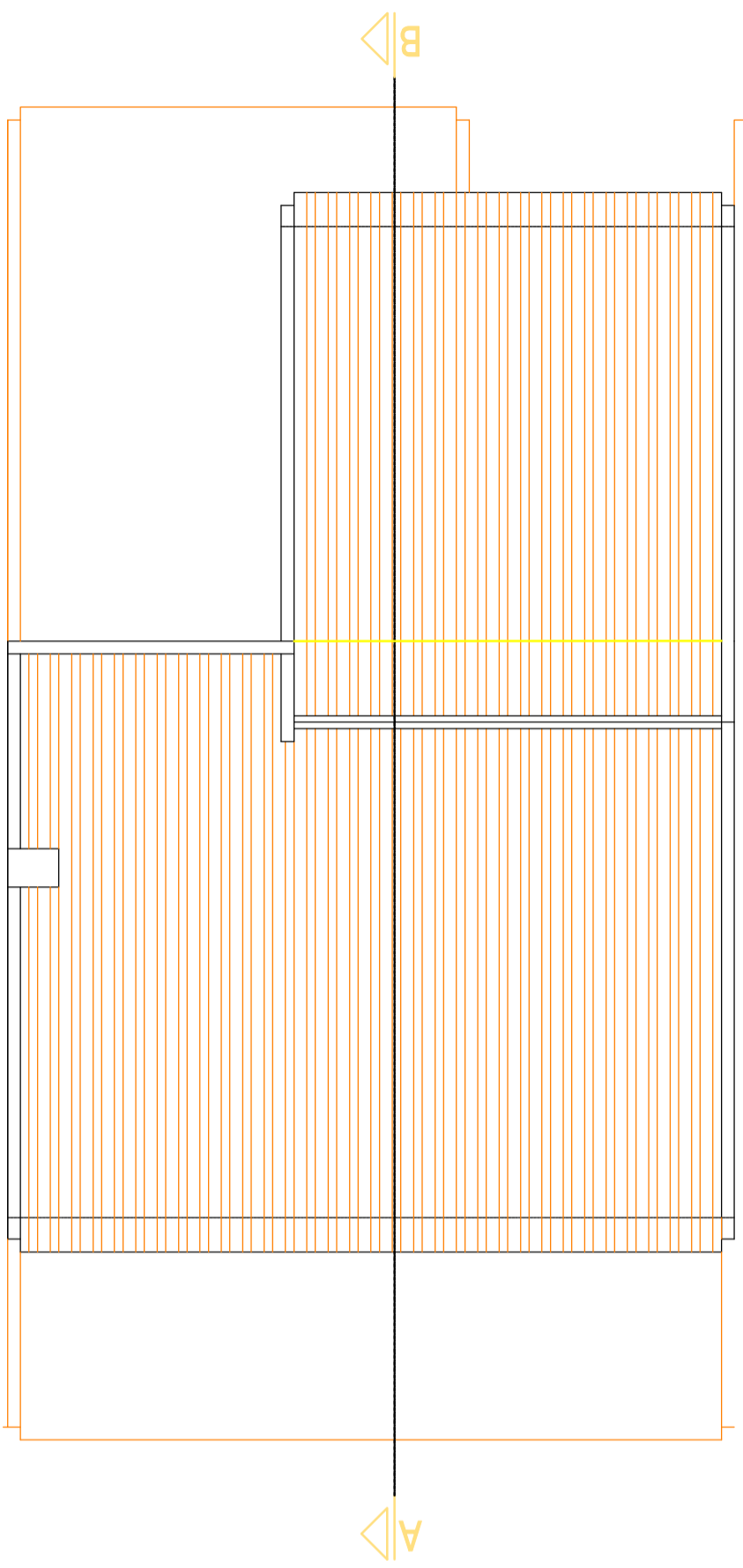
Planta Rés-do-Chão

| | | | | | |
|--|--|---|--|------------------|--|
| O Engenheiro Rui Miguel do Silveiro Andrade n.º12295 | | Requer: UNIVERSIDADE DO ALGARVE | | Projecto | |
| Local Santa Bárbara de Nexe | | Data do desenho Janeiro/15 | | Escalas 1/100 | |
| Desig. Estudo comparativo entre construccao tradicional e LSF | | Data da alteraçao | | Desenho N.º | |

| MATERIAIS | |
|--|---------------|
| Aço em geral: (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinarias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistencia compressao Classe de exposicao ambiental do betão no edificio | C30-37 XC2 |
| RECOBRIMENTO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO | |
| Laje | 3.0 cm |



Planta 1º andar

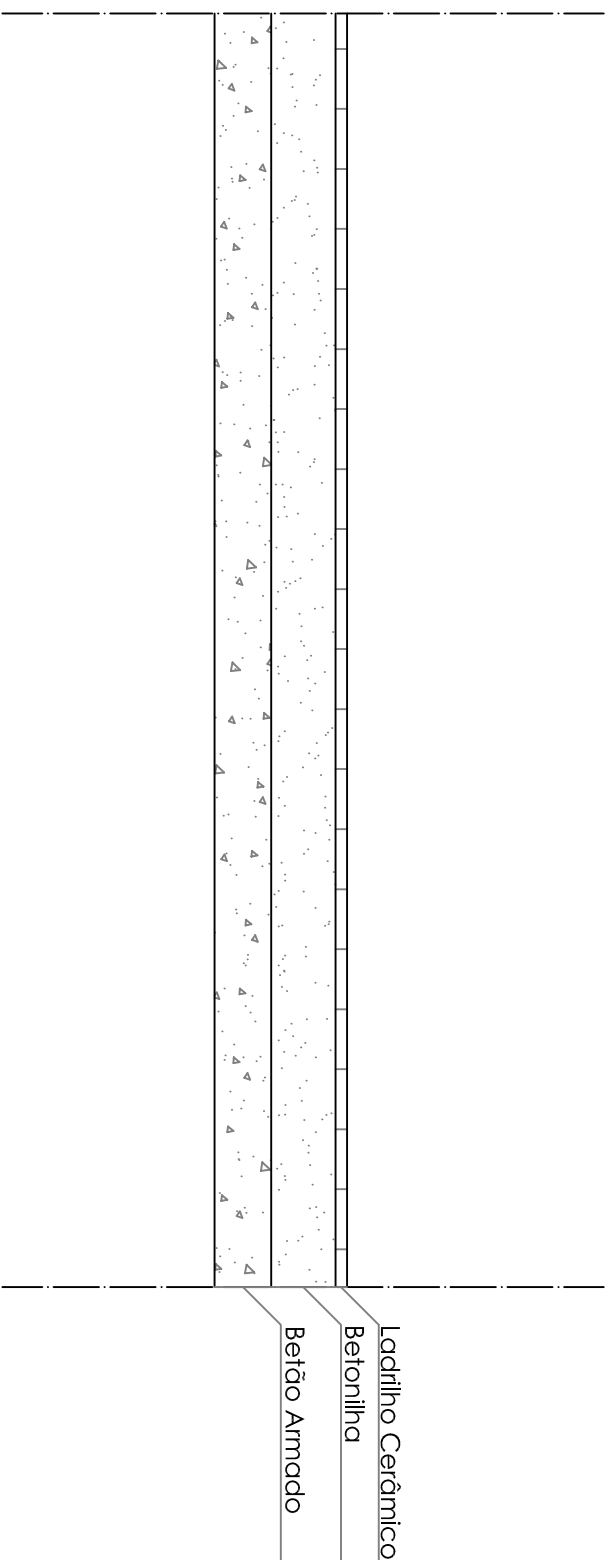


Planta Cobertura

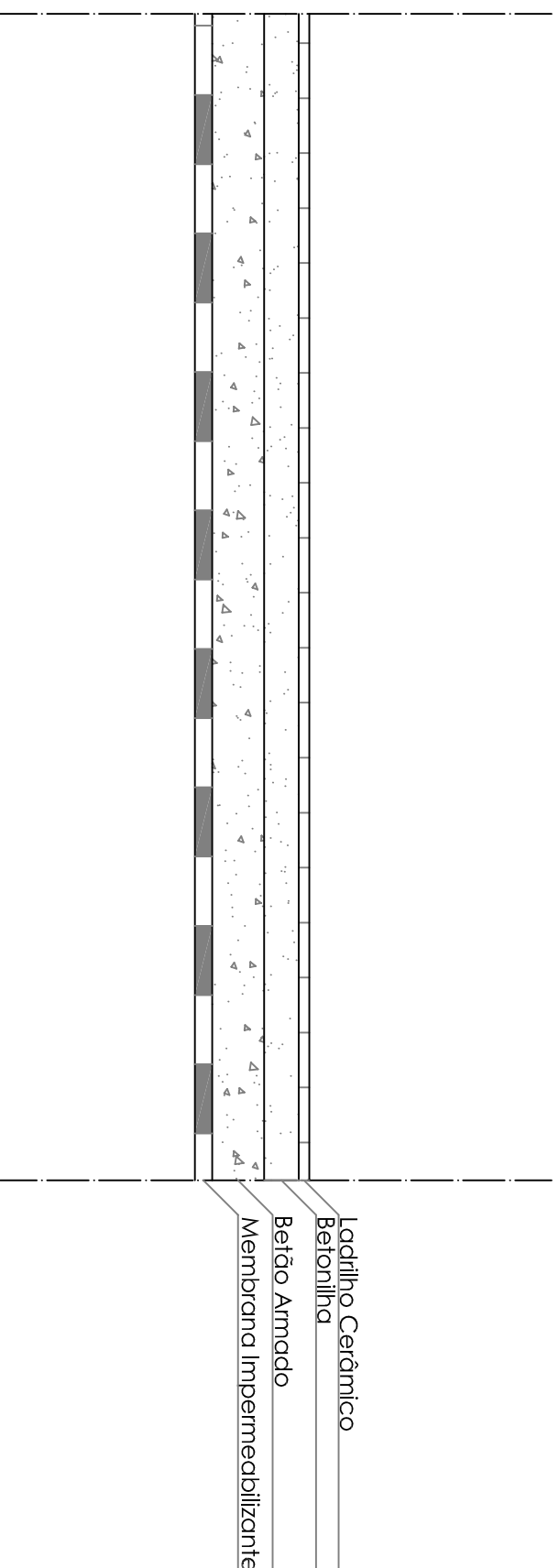
| MATERIAIS: | |
|--|---------------|
| Aço em geral: (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinárias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistência compressão Classe de exposição ambiental do betão no edifício | C30-37 XC2 |
| RECOBRIMENTO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE BETÃO ARMADO | |
| Laje | 3.0 cm |

| | | | |
|---|--|--------------------------------------|--|
| O Engenheiro Rui Miguel do Silveiro n.º12295 | | Projeto | |
| Requer: UNIVERSIDADE DO ALGARVE | | Data do desenho Janeiro/15 | |
| Local Santa Bárbara de Nexe | | Data da alteração | |
| Desig. | | Escalas 1/100 | |
| Estudo comparativo entre construção tradicional e LSF | | Desenho N.º | |

Laje Piso



Laje R/C



| MATERIAIS: | |
|--|---------------|
| Aço em geral (segundo NP EN 1992-1-1) Armaduras ordinárias | A400 NR |
| Betão em geral (segundo NP EN 206-1) Classe de resistência compressão Classe de exposição ambiental do betão no edifício | C25-30 XC2 |
| RECOBRIMENTO DE ARMADURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIIS DE BETÃO ARMADO | |
| Laje | 3,0 cm |

O Engenheiro
Rui Miguel do Silva Andrade n.º32295

Requer.
UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Projecto

Local
Santa Bárbara de Nexe

Data do desenho
Janeiro/15

Desig.
Estudo comparativo

Data da alteração

Contém

Escalas
1/20

Desenho N.º

Tabelas de Dimensionamento de Sapatas

Capacidade resistente de carga

| | Conjunto b | Conjunto c |
|----|-------------|-------------|
| Nq | 8,008073309 | 15,25586337 |
| Nc | 12,51895705 | 20,37290803 |
| Nφ | 12,89655282 | 27,1122345 |

Factores de inclinação da sapata

| | Conjunto b | Conjunto c |
|----|------------|------------|
| bq | 1 | 1 |
| bc | 1 | 1 |
| bφ | 1 | 1 |

Factores de forma

| | Conjunto b | Conjunto c |
|----|-------------|-------------|
| sq | 1,488468448 | 1,573322732 |
| sc | 1,558169267 | 1,613539358 |
| sφ | 0,7 | 0,7 |

Inclinação da carga

| | Conjunto b | Conjunto c |
|----|------------|-------------|
| iq | 0,997228 | 0,996143131 |
| ic | 0,997104 | 0,996010659 |
| iφ | 0,87855 | 0,834820775 |

Cargas aplicadas na sapata

| | Conjunto B | Conjunto C |
|----|------------|------------|
| Vd | 385,83 | 309,96 |
| Hx | 45,728 | 50,22 |
| Hy | 4,15 | 0,043 |
| Mx | 0 | 0 |
| My | 0 | 0 |

| | | |
|----|----------|-------------|
| H= | 45,91593 | 50,22001841 |
| Θ | 1,48029 | 1,569940094 |
| mB | 1,5 | 1,5 |
| mL | 1,5 | 1,5 |
| mΘ | 1,5 | 1,5 |
| M | 0,024507 | |

| | Conjunto b | Conjunto c |
|----|-------------|------------|
| Rd | 767,9975818 | 1390,59416 |
| Vd | 385,83 | 309,96 |
| | Verifica | Verifica |

| | |
|----|------|
| eB | 0 |
| eL | 0 |
| B | 1,00 |
| L | 1,00 |
| B' | 1 |
| L' | 1 |

Tabelas de Dimensionamento de Sapatas

| | |
|---------|----------|
| vb0 | 27 |
| cdir | 1 |
| cseason | 1 |
| vb | 27 |
| ρ | 1,25 |
| qb | 0,455625 |
| Terreno | IV |
| z0 | 1 |
| zmin | 15 |
| b | 8,6 |
| h | 8,07 |
| Ze | 8,07 |
| Co | 1 |
| Kr | 0,234329 |
| Cr | 0,489024 |
| Iv | 0,478892 |
| Vm | 13,20365 |
| Ce | 1,040815 |
| Qp | 0,474221 |

m/s
kg/m³
kN/m²

| | |
|-----|----------|
| b | 8,5 |
| d | 12,6 |
| h | 8,06 |
| | |
| e | 8,5 |
| | |
| h/d | 0,639683 |

| fachada | D | E |
|---------|---------|---------|
| cpe10 | 0,725 | -0,404 |
| | | |
| Cpi | 0,54375 | 0,54375 |

| | D | E |
|-------|----------|----------|
| Total | 0,18125 | -0,94775 |
| w | 0,085953 | -0,44944 |

Valores Sap

VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA AO ESFORÇO TRANSVERSO

| Painel | Comprimento maximo | Asl,apoio | ρ | vrdc,1 | vrdc,2 | ved | vr,cmax | |
|--------|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 1,829 | 2,48 | 0,002067 | 49,78853 | 15,47293 | 12,96761 | 49,78853 | Verifica |
| 2 | 0,5 | 8,16 | 0,0068 | 74,05291 | 15,47293 | 3,545 | 74,05291 | Verifica |
| 3 | 0,425 | 2,41 | 0,002008 | 49,31561 | 15,47293 | 3,01325 | 49,31561 | Verifica |
| 4 | 1,613 | 5,44 | 0,004533 | 64,69118 | 15,47293 | 11,43617 | 64,69118 | Verifica |
| 5 | 1,767 | 8,63 | 0,007192 | 75,44822 | 15,47293 | 12,52803 | 75,44822 | Verifica |
| 6 | 0,875 | 2,48 | 0,002067 | 49,78853 | 15,47293 | 6,20375 | 49,78853 | Verifica |
| 7 | 0,9 | 12 | 0,01 | 84,21171 | 15,47293 | 6,381 | 84,21171 | Verifica |
| 8 | 1,987 | 2,48 | 0,002067 | 49,78853 | 15,47293 | 14,08783 | 49,78853 | Verifica |
| 9 | 1,575 | 12 | 0,01 | 84,21171 | 15,47293 | 11,16675 | 84,21171 | Verifica |
| 10 | 1,829 | 9,17 | 0,007642 | 76,99015 | 15,47293 | 12,96761 | 76,99015 | Verifica |
| 11 | 1,829 | 7,7 | 0,006417 | 72,63439 | 15,47293 | 12,96761 | 72,63439 | Verifica |
| 12 | 1,75 | 9,22 | 0,007683 | 77,12983 | 15,47293 | 12,4075 | 77,12983 | Verifica |
| 13 | 0,85 | 7,7 | 0,006417 | 72,63439 | 15,47293 | 6,0265 | 72,63439 | Verifica |
| 14 | 0,85 | 11,6 | 0,009667 | 83,26543 | 15,47293 | 6,0265 | 83,26543 | Verifica |
| 15 | 1,987 | 11,6 | 0,009667 | 83,26543 | 15,47293 | 14,08783 | 83,26543 | Verifica |

| | |
|-------|------|
| qed | 7,09 |
| b | 1 |
| d | 0,12 |
| k | 2 |
| crd,c | 0,12 |
| fck | 25 |

VERIFICAÇÃO DE FLECHAS E QUANTIDADES DE ARMADURAS

| Painel | A | B | a/b | ac | at | l/500 | verificacao |
|--------|------|------|----------|----------|----------|-------|-------------|
| 1 | 2,9 | 3,55 | 0,816901 | 0,0544 | 0,272 | 7,1 | Verifica |
| 2 | 1,8 | 1 | 1,8 | 0,0027 | 0,0135 | 3,6 | Verifica |
| 3 | 0,85 | 1 | 0,85 | 0,0196 | 0,098 | 2 | Verifica |
| 4 | 2,85 | 3,23 | 0,882353 | 0,025 | 0,125 | 6,46 | Verifica |
| 5 | 4,8 | 2,77 | 1,732852 | 0,0059 | 0,0295 | 9,6 | Verifica |
| 6 | 1,75 | | | 1,64E-05 | 8,18E-05 | 3,5 | Verifica |
| 7 | 1,8 | 2,18 | 0,825688 | 0,021 | 0,105 | 4,36 | Verifica |
| 8 | 3 | 5,7 | 0,526316 | 0,0549 | 0,2745 | 11,4 | Verifica |
| 9 | 3,15 | | | 0,000359 | 0,001793 | 6,3 | Verifica |
| 10 | 2,9 | 3,58 | 0,810056 | 0,0361 | 0,1805 | 7,16 | Verifica |
| 11 | 2,9 | 4,35 | 0,666667 | 0,0411 | 0,2055 | 8,7 | Verifica |
| 12 | 4,73 | 2,77 | 1,707581 | 0,0059 | 0,0295 | 9,46 | Verifica |
| 13 | 1,7 | | | 3,03E-05 | 0,000152 | 3,4 | Verifica |
| 14 | 1,7 | 2,18 | 0,779817 | 0,0214 | 0,107 | 4,36 | Verifica |
| 15 | 3,15 | 6,15 | 0,512195 | 0,0549 | 0,2745 | 12,3 | Verifica |

| | |
|------|----------|
| qEd= | 7,09 |
| E | 31000000 |
| b | 1 |
| h | 0,16 |
| l | 0,000341 |

| | Laje | M x-x | Armadura | |
|--------|------|-------|----------|--------|
| Piso 1 | 1 | 4,61 | 0,9 | Ø8//20 |
| | 2 | 0,15 | 0,029 | Ø8//20 |
| | 3 | -0,77 | 0,148 | Ø8//20 |
| | 4 | 2,64 | 0,51 | Ø8//20 |
| | 5 | -0,47 | 0,148 | Ø8//20 |
| | 6 | 2,17 | 0,46 | Ø8//20 |
| | 7 | -5,05 | 0,99 | Ø8//20 |
| | 8 | 9,43 | 2,37 | Ø8//20 |
| | 9 | 8,46 | 2,11 | Ø8//20 |

| | Laje | M y-y | Armadura | |
|--------|------|-------|----------|--------|
| Piso 1 | 1 | 4,97 | 1,25 | Ø8//20 |
| | 2 | -5,21 | 1,31 | Ø8//20 |
| | 3 | -6,16 | 1,53 | Ø8//20 |
| | 4 | 2,58 | 0,622 | Ø8//20 |
| | 5 | 5,81 | 1,45 | Ø8//20 |
| | 6 | 0,434 | 0,1 | Ø8//20 |
| | 7 | -2,17 | 0,52 | Ø8//20 |
| | 8 | 3,82 | 0,95 | Ø8//20 |
| | 9 | 1,692 | 0,405 | Ø8//20 |

| | Laje | M x-x | Armadura | |
|--------|------|-------|----------|--------|
| Piso 2 | 10 | 4,7 | 1,18 | Ø8//20 |
| | 11 | 5,27 | 1,32 | Ø8//20 |
| | 12 | -0,26 | 0,062 | Ø8//20 |
| | 13 | 2,47 | 0,59 | Ø8//20 |
| | 14 | -6,21 | 1,55 | Ø8//20 |
| | 15 | 8,55 | 2,14 | Ø8//20 |

| | Laje | M y-y | Armadura | |
|--------|------|--------|----------|--------|
| Piso 2 | 10 | 4,51 | 1,13 | Ø8//20 |
| | 11 | 7,49 | 1,86 | Ø8//20 |
| | 12 | 5,45 | 1,36 | Ø8//20 |
| | 13 | -1,232 | 0,12 | Ø8//20 |
| | 14 | -2,39 | 0,573 | Ø8//20 |
| | 15 | 1,85 | 0,44 | Ø8//20 |

FICHA N.º 2
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO
DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)
 (nos termos da alínea d) do n.º 1.2)

Câmara Municipal de Faro

Edifício

Empreendimento: Edifício Betão Armado Nº de fracções: _____
 Morada: _____
 Freguesia: SANTA BARBARA DE NEXE Concelho: Faro

Construção conforme projeto:

Sim Sim, de acordo com alterações promovidas em obra
 (a preencher com base na informação da versão final do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

| Fração | Área interior útil de pavimento (m ²) | Pé direito médio ponderado (m) | Tipologia | Pré-certificado nº |
|--------|---|--------------------------------|-----------|--------------------|
| - | 133,22 | 2,60 | T3 | |
| | | | | |
| | | | | |

Resumo de cálculo:

| Fração | Tx. ren. (RPH) | Nic (kWh/(m ² .ano)) | Ni (kWh/(m ² .ano)) | Nvc (kWh/(m ² .ano)) | Nv (kWh/(m ² .ano)) | Qa (kWh/ano) | Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano)) | Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano)) | E _{ren,p} (kWh/ano)(*) | E _{ren,ext} (kWh/ano)(**) |
|--------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|--|---|---------------------------------|------------------------------------|
| - | 0,42 | 53,40 | 38,53 | 2,55 | 18,97 | 2140 | 175,76 | 159,08 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: Rui Andrade
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Diretor de fiscalização de obra (se aplicável)

Nome: _____
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Diretor técnico de obra

Nome: _____
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Assinatura _____

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adi}$ W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo $H_{ec3 REF}$ W/°C

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF} + H_{adi REF}$ W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ec3 REF}$ W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ W/°C

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext REF}$ W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu REF}$ W/°C

+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ec3 REF}$ W/°C

=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr REF}$ W/°C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{-} \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} &= \frac{0}{0} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d &= \frac{145,48}{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1,00 \\
 & \times 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} &= \frac{0,42}{133,22} \text{ h}^{-1} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 133,22 \text{ m}^2 \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,60 \text{ m} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \frac{0,34}{\times} \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i REF} &= \frac{0,42}{133,22} \text{ h}^{-1} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 133,22 \text{ m}^2 \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,60 \text{ m} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i REF} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{-} \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} &= \frac{0}{0} \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d &= \frac{207,82}{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1,00 \\
 & \times 0,34 \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} &= \frac{0,60}{133,22} \text{ h}^{-1} \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 133,22 \text{ m}^2 \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,60 \text{ m} \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} &= 70,66 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$



Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ kWh/ano

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul} kWh/m².mês

x

0,182

x

0,2

x

Área útil de pavimento A_p m²

x

Duração da estação de aquecimento M meses

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ kWh/ano

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} &= 294,05 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} &= 343,51 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} &= 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} &= 294,05 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} &= 7\,664,04 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} &= 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} &= 1\,289,18 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} \text{Inércia do edifício} &= \text{Forte} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 1841,63 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} &= 8953,22 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ \text{parâmetro } \gamma_i &= 0,21 \\ \text{parâmetro } a_i &= 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} &= 272,90 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,I,REF} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,I,REF} &= 322,36 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} &= 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} &= 272,90 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,I,REF} &= 7112,79 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento GD} &= 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,I,REF} &= 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,I,REF} &= 1289,18 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 1,00 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 1841,63 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 1839,72 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,REF} \quad 0,6 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,REF} \quad 5449,44 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i,REF} \quad 3269,67 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 7664,04 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1289,18 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 1839,72 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \text{(folha de cálculo 1.4)} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 7113,49 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 133,22 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 53,40 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 7112,79 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 1289,18 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i,REF} \quad 3269,67 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 5132,30 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 133,22 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_i \quad 38,52 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 263,12 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 70,66 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 333,78 \quad \text{W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 263,12 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \quad ^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \quad \text{horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 1\,463,79 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 70,66 \quad \text{W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \quad ^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \quad \text{horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 393,10 \quad \text{kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 & \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 1826,86 \quad \text{kWh/ano} \\
 &\quad \div
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{re,v}$ kWh/ano
 =
 parâmetro γ_v
 parâmetro av W/°C
 Factor de utilização dos ganhos η_v

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$
 x
 Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano
 ÷
 Área útil de pavimento A_p m²
 =
 Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc} kWh/m².ano

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v,REF})$
 x
 Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$ kWh/ano
 ÷
 Área útil de pavimento A_p m²
 =
 Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_v kWh/m².ano

Folha de Cálculo G
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA
LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA
G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO
G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

| SISTEMA PARA AQUECIMENTO | Fonte de Energia | Necessidades de Energia Útil N_c kWh/m ² .ano | f_i | δ | Eficiência Nominal η_i | Factor de Conversão $F_{p,ui}$ kWh _{EP} /kWh | Necessidades de Energia Final $f_i \cdot \delta \cdot N_c / \eta_i \cdot A_p$ kWh/ano | Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_c \cdot F_{p,ui} / \eta_i$ kWh _{EP} /m ² .ano | SISTEMA PARA AQUECIMENTO | Fonte de Energia | Limite das Necessidades de Energia Útil N_c kWh/m ² .ano | f_i | Eficiência Nominal de Referência $\eta_{i,REF}$ | Factor de Conversão $F_{p,ui}$ kWh _{EP} /kWh | Limite das Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot N_c \cdot F_{p,ui} / \eta_i$ kWh _{EP} /m ² .ano |
|--------------------------|------------------|---|-------|--------------|-----------------------------|--|--|---|--------------------------|------------------|--|-------|---|--|---|
| | | 53,40 | - | 1 | - | - | - | - | | | 38,52 | - | - | - | - |
| Sistema por defeito | Electricidade | | 1,00 | | 1 | 2,5 | 7113,49 | 133,49 | Sistema por defeito | Electricidade | | 1,00 | 1 | 2,5 | 96,31 |
| | | | | TOTAL | | 7113,49 | | 133,49 | | | | | TOTAL | | 96,31 |

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO
G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

| SISTEMA PARA ARREFECIMENTO | Fonte de Energia | Necessidades de Energia Útil N_v kWh/m ² .ano | f_v | δ | Eficiência Nominal η_v | Factor de Conversão $F_{p,uv}$ kWh _{EP} /kWh | Necessidades de Energia Final $f_v \cdot \delta \cdot N_v / \eta_v \cdot A_p$ kWh/ano | Necessidades de Energia Primária $f_v \cdot \delta \cdot N_v \cdot F_{p,uv} / \eta_v$ kWh _{EP} /m ² .ano | SISTEMA PARA ARREFECIMENTO | Fonte de Energia | Limite das Necessidades de Energia Útil N_v kWh/m ² .ano | f_v | Eficiência Nominal de Referência $\eta_{v,REF}$ | Factor de Conversão $F_{p,uv}$ kWh _{EP} /kWh | Limite das Necessidades de Energia Primária $f_v \cdot N_v \cdot F_{p,uv} / \eta_v$ kWh _{EP} /m ² .ano |
|----------------------------|------------------|---|-------|--------------|-----------------------------|--|--|---|----------------------------|------------------|--|-------|---|--|---|
| | | 2,55 | - | 0 | - | - | - | - | | | 18,97 | - | - | - | - |
| Sistema por defeito | Electricidade | | 1,00 | | 3 | 2,5 | 0,00 | 0,00 | Sistema por defeito | Electricidade | | 1,00 | 3 | 2,5 | 15,81 |
| | | | | TOTAL | | 0,00 | | 0,00 | | | | | TOTAL | | 15,81 |

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS
G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS DE REFERÊNCIA

| CONSUMO DE AQS | | Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS | | CONSUMO DE AQS DE REFERÊNCIA | | Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS | |
|---|-----|--|---------|---|-----|--|---------|
| Consumo médio diário de referência M_{AQS} | 40 | consumo médio diário de referência M_{AQS} | 144 | Consumo médio diário de referência M_{AQS} | 40 | consumo médio diário de referência M_{AQS} | 160 |
| n.º convencional de ocupantes de cada fracção n | 4 | n.º convencional de ocupantes de cada fracção n | 4 | n.º convencional de ocupantes de cada fracção n | 4 | n.º convencional de ocupantes de cada fracção n | 4 |
| factor de eficiência hídrica | 0,9 | aumento de temperatura ΔT | 35 | factor de eficiência hídrica | 1 | aumento de temperatura ΔT | 35 |
| consumo médio diário de referência MAQS | 144 | n.º de dias de consumo | 365 | consumo médio diário de referência MAQS | 160 | n.º de dias de consumo | 365 |
| | | | 3600000 | | | | 3600000 |
| | | A_p | 133,22 | | | A_p | 133,22 |
| | | Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS Q_u/A_p | 16,06 | | | Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS Q_u/A_p | 17,84 |

| SISTEMA PARA AQS | Fonte de Energia | Necessidades de Energia Útil Q_u/A_p kWh/m ² .ano | f_u | δ | Eficiência Nominal η_u | Factor de Conversão $F_{p,ua}$ kWh _{EP} /kWh | Necessidades de Energia Final $f_u \cdot \delta \cdot Q_u / \eta_u$ kWh/ano | Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot Q_u \cdot F_{p,ua} / \eta_u$ kWh _{EP} /m ² .ano | SISTEMA PARA AQS | Fonte de Energia | Necessidades de Energia Útil de Referência Q_u/A_p kWh/m ² .ano | f_u | Eficiência Nominal de Referência $\eta_{u,REF}$ | Factor de Conversão $F_{p,ua}$ kWh _{EP} /kWh | Limite das Necessidades de Energia Primária $f_u \cdot \delta \cdot Q_u \cdot F_{p,ua} / \eta_u$ kWh _{EP} /m ² .ano |
|------------------|------------------|---|-------|----------|-----------------------------|--|--|---|------------------|------------------|---|-------|---|--|--|
| | | 16,06 | - | 1 | - | - | - | - | | | 17,84 | - | - | - | - |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|------|------|-----|---------|-------|---------|---------------------|---------------|------|------|-----|-------|--|--|-------|
| | | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | |
| Sistema por defeito | Electricidade | 1,00 | 0,95 | 2,5 | 2252,17 | 42,26 | | Sistema por defeito | Electricidade | 1,00 | 0,95 | 2,5 | 46,96 | | | |
| TOTAL | | | | | | | 2252,17 | 42,26 | TOTAL | | | | | | | 46,96 |

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm} kWh/ano

÷

Área útil de Pavimento A_p m²

x

Factor de Conversão F_{pv} kWh_{ep}/kWh

=

Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{ep}/m².ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

| SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL | Produção de Energia | E_{ren}/A_p kWh/m ² .ano | Factor de Conversão F_{pv} kWh _{ep} /kWh | Energia primária $E_{ren} \cdot F_{pv}$ kWh _{ep} /m ² .ano |
|---|---------------------|--|--|---|
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | Biomassa | 0,00 | 1 | 0,00 |
| TOTAL | | | | 0,00 |

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{ep}/m².ano

+

Energia primária para arrefecimento kWh_{ep}/m².ano

+

Energia primária para a preparação de AQS kWh_{ep}/m².ano

+

Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{ep}/m².ano

-

Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{ep}/m².ano

=

Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_g kWh_{ep}/m².ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{ep}/m².ano

+

Energia primária para arrefecimento kWh_{ep}/m².ano

+

Energia primária para a preparação de AQS kWh_{ep}/m².ano

=

Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N_l kWh_{ep}/m².ano

FICHA N.º 2
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO
DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)
 (nos termos da alínea d) do n.º 1.2)

Câmara Municipal de Faro

Edifício

Empreendimento: Edifício- LSF Nº de fracções _____
 Morada: _____
 Freguesia: SANTA BARBARA DE NEXE Concelho: Faro

Construção conforme projeto:

Sim Sim, de acordo com alterações promovidas em obra
 (a preencher com base na informação da versão final do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

| Fração | Área interior útil de pavimento (m ²) | Pé direito médio ponderado (m) | Tipologia | Pré-certificado nº |
|--------|---|--------------------------------|-----------|--------------------|
| - | 133,22 | 2,60 | T3 | |
| | | | | |
| | | | | |

Resumo de cálculo:

| Fração | Tx. ren. (RPH) | Nic (kWh/(m ² .ano)) | Ni (kWh/(m ² .ano)) | Nvc (kWh/(m ² .ano)) | Nv (kWh/(m ² .ano)) | Qa (kWh/ano) | Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano)) | Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano)) | E _{ren,p} (kWh/ano)(*) | E _{ren,ext} (kWh/ano)(**) |
|--------|----------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|--|---|---------------------------------|------------------------------------|
| - | 0,42 | 40,05 | 36,31 | 2,27 | 18,97 | 2377 | 147,07 | 153,54 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: Rui Andrade
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Diretor de fiscalização de obra (se aplicável)

Nome: _____
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Diretor técnico de obra

Nome: _____
 Inscrita na: _____ Número de inscrição: _____

Assinatura _____

| A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO | | | | A.8 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO | | | |
|--|------------------------|---|---------------------------|--|-----------|---|---------------------------|
| PAREDES ENTERRADAS | Área m ² | U _{bw} W/m ² .°C | A.U _{bw} W/°C | PAREDES ENTERRADAS | Área m | U _{bw} W/m ² .°C | A.U _{bw} W/°C |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | | | 0,00 | TOTAL | | | 0,00 |

| PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade >0).</i> | | | | PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade >0).</i> | | | |
|---|------------------------|---|---------------------------|---|-----------|---|---------------------------|
| | Área m ² | U _{bf} W/m ² .°C | A.U _{bf} W/°C | | Área m | U _{bf} W/m ² .°C | A.U _{bf} W/°C |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | | | 0,00 | TOTAL | | | 0,00 |

| PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível dos pavimentos exteriores (profundidade <=0) com ou sem isolamentos térmico perimetral.</i> | | | | PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível dos pavimentos exteriores (profundidade <=0) com ou sem isolamentos térmico perimetral.</i> | | | |
|---|------------------------|--|--------------------------|---|-----------|--|--------------------------|
| | Área m ² | U _f W/m ² .°C | A.U _f W/°C | | Área m | U _f W/m ² .°C | A.U _f W/°C |
| PVT1 | 98,78 | 0,58 | 57,05 | PVT1 | 98,78 | 0,50 | 49,39 |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | | | 57,05 | TOTAL | | | 49,39 |

 Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec3} = 57,05 W/°C

 Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} = 49,39 W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} = 159,29 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} + H_{id0} = 9,37 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} = 57,05 W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} = 225,71 W/°C

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext REF} = 199,69 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu REF} + H_{id0 REF} = 12,49 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} = 49,39 W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr REF} = 261,57 W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} = 159,29 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} = 3,59 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} = 57,05 W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} = 219,93 W/°C

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext REF} = 199,69 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu REF} = 4,78 W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} = 49,39 W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr REF} = 253,87 W/°C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} &= \boxed{0} \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d &= \boxed{145,48} \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= \boxed{1,00} \\
 &\times \\
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} &= \boxed{0,42} \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \boxed{133,22} \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \boxed{2,60} \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} &= \boxed{49,46} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i \text{ REF}} &= \boxed{0,42} \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \boxed{133,22} \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \boxed{2,60} \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i \text{ REF}} &= \boxed{49,46} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} &= \boxed{0} \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= \boxed{0} \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d &= \boxed{207,82} \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= \boxed{1,00} \\
 &\times \\
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} &= \boxed{0,60} \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= \boxed{133,22} \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= \boxed{2,60} \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} &= \boxed{70,66} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$



Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ kWh/ano

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul} kWh/m².mês

x

0,182

x

0,2

x

Área útil de pavimento A_p m²

x

Duração da estação de aquecimento M meses

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ kWh/ano

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 225,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 275,17 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 225,71 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 5\,882,78 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1\,289,18 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 1841,63 \text{ kWh/ano} \\ &\div \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} \quad 7171,96 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_i \quad 0,26 \\ &\text{parâmetro } a_i \quad 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 261,57 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} \quad 311,03 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 261,57 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 6817,53 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &x \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\,086 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &x \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 49,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 1289,18 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 1,00 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 1841,63 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 1837,10 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,REF} \quad 0,6 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,REF} \quad 5449,44 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i,REF} \quad 3269,67 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 5882,78 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1289,18 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 1837,10 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \text{(folha de cálculo 1.4)} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 5334,87 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 133,22 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 40,05 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 6817,53 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 1289,18 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i,REF} \quad 3269,67 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 4837,04 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 133,22 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{i,l} \quad 36,31 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 219,93 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 70,66 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 290,59 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 219,93 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 1\,223,50 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 70,66 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 393,10 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 & \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 1601,20 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{re,v}$ kWh/ano
 =
 parâmetro γ_v
 parâmetro a_v W/°C
 Factor de utilização dos ganhos η_v

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$
 x
 Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano
 ÷
 Área útil de pavimento A_p m²
 =
 Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc} kWh/m².ano

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v,REF})$
 x
 Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$ kWh/ano
 ÷
 Área útil de pavimento A_p m²
 =
 Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_v kWh/m².ano

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|------|------|-------|---------|-------|--|---------------------|---------------|------|------|-------|-------|--|--|
| | | - | - | - | - | - | | | | | | | | | |
| Sistema por defeito | Electricidade | 1,00 | 0,95 | 2,5 | 2502,41 | 46,96 | | Sistema por defeito | Electricidade | 1,00 | 0,95 | 2,5 | 46,96 | | |
| | | | | TOTAL | 2502,41 | 46,96 | | | | | | TOTAL | 46,96 | | |

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm} kWh/ano
 ÷
 Área útil de Pavimento A_p m²
 x
 Factor de Conversão F_{pv} kWh_{ep}/kWh
 =
 Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{ep}/m².ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

| SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL | Produção de Energia | E_{ren}/A_p kWh/m ² .ano | Factor de Conversão F_{pv} kWh _{ep} /kWh | Energia primária $E_{ren} \cdot F_{pv}$ kWh _{ep} /m ² .ano |
|---|---------------------|--|--|---|
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | - | - | - | - |
| | Biomassa | 0,00 | 1 | 0,00 |
| | | | TOTAL | 0,00 |

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{ep}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{ep}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{ep}/m².ano
 +
 Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{ep}/m².ano
 -
 Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{ep}/m².ano
 =
 Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_g kWh_{ep}/m².ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{ep}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{ep}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{ep}/m².ano
 =
 Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N_g kWh_{ep}/m².ano

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | |
|--------|--|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----------|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un |
| Cap. 1 | ESTALEIROS | | | | | | | | |
| | Montagem e desmontagem de estaleiro de acordo com o caderno de encargos, incluindo a implementação do plano de segurança e saúde e trabalhos complementares de sinalização, e todos os materiais, equipamentos e trabalhos necessários. | 1 | | | | | | 1 | vg |
| Cap. 2 | MOVIMENTOS DE TERRAS | | | | | | | | |
| | Vigas de fundação | | | | | | | | |
| | | A | 1 | 5,40 | 0,35 | 0,60 | 1,13 | | |
| | | B | 1 | 2,95 | 0,35 | 0,60 | 0,62 | | |
| | | C | 1 | 2,65 | 0,35 | 0,60 | 0,56 | | |
| | | D | 1 | 1,67 | 0,35 | 0,60 | 0,35 | | |
| | | E | 1 | 2,17 | 0,35 | 0,60 | 0,46 | | |
| | | F | 1 | 6,01 | 0,35 | 0,60 | 1,26 | | |
| | | G | 1 | 3,20 | 0,35 | 0,60 | 0,67 | | |
| | | H | 1 | 2,95 | 0,35 | 0,60 | 0,62 | | |
| | | I | 1 | 1,90 | 0,35 | 0,60 | 0,40 | | |
| | | J | 1 | 1,83 | 0,35 | 0,60 | 0,38 | | |
| | | K | 1 | 2,40 | 0,35 | 0,60 | 0,50 | | |
| | | L | 1 | 3,88 | 0,35 | 0,60 | 0,82 | | |
| | | M | 1 | 1,67 | 0,35 | 0,60 | 0,35 | | |
| | | N | 1 | 2,82 | 0,35 | 0,60 | 0,59 | | |
| | | O | 1 | 2,78 | 0,35 | 0,60 | 0,58 | | |
| | | P | 1 | 5,17 | 0,35 | 0,60 | 1,08 | | |
| | | Q | 1 | 3,06 | 0,35 | 0,60 | 0,64 | | |
| | | R | 1 | 3,23 | 0,35 | 0,60 | 0,68 | | |
| | | S | 1 | 1,27 | 0,35 | 0,60 | 0,27 | | |
| | | T | 1 | 3,20 | 0,35 | 0,60 | 0,67 | | |
| | | U | 1 | 2,17 | 0,35 | 0,60 | 0,46 | | |
| | | V | 1 | 3,20 | 0,35 | 0,60 | 0,67 | | |
| | | X | 1 | 3,06 | 0,35 | 0,60 | 0,64 | | |
| | | W | 1 | 1,90 | 0,35 | 0,60 | 0,40 | | |
| | | Y | 1 | 2,05 | 0,35 | 0,60 | 0,43 | | |
| | | Z | 1 | 3,25 | 0,35 | 0,60 | 0,68 | | |
| | | AA | 1 | 3,25 | 0,35 | 0,60 | 0,68 | 16,61 | 16,61 m3 |
| Cap. 3 | FUNDAÇÕES E ESTABILIDADE | | | | | | | | |
| | Fornecimento e colação de betão de limpeza (C12) com uma espessura de 0,10 m, incluindo todos os trabalhos e materiais inerentes. | | | | | | | | |
| | Vigas de fundação | 1 | 19,39 | | 0,10 | 1,94 | 1,94 | 1,94 | m3 |
| | Fornecimento, colocação e vibração de betão armado, considerando-se a utilização de betão (NP EN 206-1:2005) C30/37, argamassa não retráctil (grout), aço A400NR SD e cofragens metálicas, de acordo com o projecto de estabilidade e incluindo todos os trabalhos inerentes e acessórios. | | | | | | | | |
| | Sapatas | 27 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 16,20 | 16,20 | | |
| | Pilares | | | | | | | | |
| | P1 | 1 | 15,60 | 0,95 | 0,25 | 3,71 | | | |
| | P2 | 1 | 79,33 | 0,30 | 0,30 | 7,14 | | | |
| | P3 | 1 | 12,12 | 0,25 | 0,95 | 2,88 | | | |

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | |
|--------|--|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un |
| | PBA | 1 | 5,20 | 1,45 | 0,20 | 1,51 | | | |
| | Vigas | | | | | | 15,23 | | |
| | 1º andar | 1 | 16,81 | 0,20 | 0,30 | 1,01 | | | |
| | 2º andar | 1 | 13,69 | 0,20 | 0,30 | 0,82 | | | |
| | Viga de fundação | | | | | | 1,83 | | |
| | A | 1 | 5,40 | 0,25 | 0,50 | 0,68 | | | |
| | B | 1 | 2,95 | 0,25 | 0,50 | 0,37 | | | |
| | C | 1 | 2,65 | 0,25 | 0,50 | 0,33 | | | |
| | D | 1 | 1,67 | 0,25 | 0,50 | 0,21 | | | |
| | E | 1 | 2,17 | 0,25 | 0,50 | 0,27 | | | |
| | F | 1 | 6,01 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | | | |
| | G | 1 | 3,20 | 0,25 | 0,50 | 0,40 | | | |
| | H | 1 | 2,95 | 0,25 | 0,50 | 0,37 | | | |
| | I | 1 | 1,90 | 0,25 | 0,50 | 0,24 | | | |
| | J | 1 | 1,83 | 0,25 | 0,50 | 0,23 | | | |
| | K | 1 | 2,40 | 0,25 | 0,50 | 0,30 | | | |
| | L | 1 | 3,88 | 0,25 | 0,50 | 0,49 | | | |
| | M | 1 | 1,67 | 0,25 | 0,50 | 0,21 | | | |
| | N | 1 | 2,82 | 0,25 | 0,50 | 0,35 | | | |
| | O | 1 | 2,78 | 0,25 | 0,50 | 0,35 | | | |
| | P | 1 | 5,17 | 0,25 | 0,50 | 0,65 | | | |
| | Q | 1 | 3,06 | 0,25 | 0,50 | 0,38 | | | |
| | R | 1 | 3,23 | 0,25 | 0,50 | 0,40 | | | |
| | S | 1 | 1,27 | 0,25 | 0,50 | 0,16 | | | |
| | T | 1 | 3,20 | 0,25 | 0,50 | 0,40 | | | |
| | U | 1 | 2,17 | 0,25 | 0,50 | 0,27 | | | |
| | V | 1 | 3,20 | 0,25 | 0,50 | 0,40 | | | |
| | X | 1 | 3,06 | 0,25 | 0,50 | 0,38 | | | |
| | W | 1 | 1,90 | 0,25 | 0,50 | 0,24 | | | |
| | Y | 1 | 2,05 | 0,25 | 0,50 | 0,26 | | | |
| | Z | 1 | 3,25 | 0,25 | 0,50 | 0,41 | | | |
| | AA | 1 | 3,25 | 0,25 | 0,50 | 0,41 | | | |
| | Lajes | | | | | | 9,88 | | |
| | Laje R/C | 1 | 99,00 | | 0,15 | 14,85 | | | |
| | Laje 1º andar | 1 | 65,97 | | 0,15 | 9,90 | | | |
| | Laje cobertura | 1 | 120,00 | | 0,17 | 20,40 | | | |
| | | | | | | | 45,15 | | |
| | | | | | | | | 88,29 | m3 |
| Cap. 3 | ALVENARIAS | | | | | | | | |
| | Fornecimento e assentamento de alvenaria interior de tijolo em barro furado 30x20x11 em paredes com 0,15m no limpo, assente em argamassa de cimento e areia ao traço 1:4, incluindo todos os trabalhos e materiais inerentes. Rês-do-chão | | | | | | | | |
| | Escritório | 1 | 3,80 | | 2,60 | 9,88 | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 3,28 | 0,11 | | -0,36 | | | |
| | I.S.1 | 1 | 2,90 | | 2,60 | 7,54 | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | Sala Comum | 1 | 8,95 | | 2,60 | 23,27 | | | |
| | vão a retirar | -1 | 1,40 | | 2,00 | -2,80 | | | |
| | vão a retirar | -2 | 1,60 | | 2,00 | -6,40 | | | |
| | Cozinha | 1 | 2,97 | | 2,60 | 7,72 | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | | |
|--------|---|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----|--|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un | |
| | Garagem | 1 | 6,05 | | 2,60 | 15,73 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | | |
| | 1º andar | | | | | | 50,38 | | | |
| | Sala Comum | 1 | 10,30 | | 2,69 | 27,71 | | | | |
| | vão a retirar | -2 | 0,70 | | 2,00 | -2,80 | | | | |
| | Quarto 1 | 1 | 7,30 | | 2,60 | 18,98 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | | |
| | Quarto 2 | 1 | 3,95 | | 2,60 | 10,27 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | | |
| | I.S.B2 | 1 | 1,75 | | 2,60 | 4,55 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | 55,91 | 106,29 | m2 | |
| | Fornecimento e assentamento de alvenaria exterior de tijolo em barro furado, constituída por dois panos, um de tijolo 30x20x11 cm e outro de tijolo de 30x20x15 cm assente com argamassa de cimento e areia ao traço 1:4, incluindo caixa de ar ventilada com 6 cm, incluindo isolamento térmico com 4 cm, meia cana impermeabilizada, canaletas para drenagem e ventilação, cotadas no limpo a 0,36 m, materiais e equipamentos inerentes. | | | | | | | | | |
| | Rês-do-chão | | | | | | | | | |
| | Escritório | 1 | 8,23 | | 2,60 | 21,39 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 1,40 | | 1,10 | -1,54 | | | | |
| | I.S.1 | 1 | 1,30 | | 2,60 | 3,38 | | | | |
| | Sala Comum | 1 | 12,95 | | 2,60 | 33,67 | | | | |
| | vão a retirar | -2 | 1,60 | | 2,00 | -6,40 | | | | |
| | Cozinha | 1 | 7,55 | | 2,60 | 19,63 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 1,60 | | 2,00 | -3,20 | | | | |
| | Garagem | 1 | 12,30 | | 2,60 | 31,98 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 2,40 | | 2,05 | -4,92 | | | | |
| | Hall | 1 | 3,85 | | 2,60 | 10,01 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 0,80 | | 2,00 | -1,60 | 102,40 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | | | |
| | Sala Comum | 1 | 8,00 | | 2,60 | 20,80 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 1,60 | | 1,10 | -1,76 | | | | |
| | Quarto 1 | 1 | 7,20 | | 2,60 | 18,72 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 1,60 | | 1,10 | -1,76 | | | | |
| | Quarto 2 | 1 | 10,50 | | 2,60 | 27,30 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 0,80 | | 2,00 | -1,60 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 1,40 | | 1,10 | -1,54 | | | | |
| | I.S.B2 | 1 | 4,57 | | 2,60 | 11,88 | | | | |
| | vão a retirar | -1 | 0,80 | | 0,80 | -0,64 | | | | |
| | Hall | 1 | 3,55 | | 2,60 | 9,23 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 2,40 | | 0,40 | -0,96 | 79,67 | 182,07 | m2 | |
| Cap. 4 | REVESTIMENTOS | | | | | | | | | |
| | Fornecimento e execução do revestimento de paredes em salpico, emboço e reboco projectado tipo estuque com acabamento liso, incluindo repelente hidrófogo, fibras anti-fissuras e rede acrílica de PVC nas zonas de transição de materiais, todos os trabalhos e materiais, incluindo camada de regularização e camada de acabamentos, para pintar. | | | | | | | | | |
| | Paredes Interiores | | | | | | | | | |
| | Rês-do-chão | | | | | | | | | |
| | Escritório | 1 | 3,80 | | 2,60 | 9,88 | | | | |
| | vãos a retirar | -1 | 3,28 | 0,11 | | -0,36 | | | | |
| | I.S.1 | 1 | 2,90 | | 2,60 | 7,54 | | | | |

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | | |
|--------|--------------------|----------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----|--|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un | |
| | | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | | Sala Comum | 1 | 8,95 | | 2,60 | 23,27 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 1,40 | | 2,00 | -2,80 | | | |
| | | vão a retirar | -2 | 1,60 | | 2,00 | -6,40 | | | |
| | | Cozinha | 1 | 2,97 | | 2,60 | 7,72 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | | Garagem | 1 | 6,05 | | 2,60 | 15,73 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | 50,38 | | |
| | | Sala Comum | 1 | 10,30 | | 2,69 | 27,71 | | | |
| | | vão a retirar | -2 | 0,70 | | 2,00 | -2,80 | | | |
| | | Quarto 1 | 1 | 7,30 | | 2,60 | 18,98 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | | Quarto 2 | 1 | 3,95 | | 2,60 | 10,27 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | | I.S.B2 | 1 | 1,75 | | 2,60 | 4,55 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 0,70 | | 2,00 | -1,40 | | | |
| | Paredes Exteriores | | | | | | | 55,91 | | |
| | Rés-do-chão | | | | | | | | | |
| | | Escritório | 1 | 8,23 | | 2,60 | 21,39 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 1,40 | | 1,10 | -1,54 | | | |
| | | I.S.1 | 1 | 1,30 | | 2,60 | 3,38 | | | |
| | | Sala Comum | 1 | 12,95 | | 2,60 | 33,67 | | | |
| | | vão a retirar | -2 | 1,60 | | 2,00 | -6,40 | | | |
| | | Cozinha | 1 | 7,55 | | 2,60 | 19,63 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 1,60 | | 2,00 | -3,20 | | | |
| | | Garagem | 1 | 12,30 | | 2,60 | 31,98 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 2,40 | | 2,05 | -4,92 | | | |
| | | Hall | 1 | 3,85 | | 2,60 | 10,01 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 0,80 | | 2,00 | -1,60 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | 102,40 | | |
| | | Sala Comum | 1 | 8,00 | | 2,60 | 20,80 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 1,60 | | 1,10 | -1,76 | | | |
| | | Quarto 1 | 1 | 7,20 | | 2,60 | 18,72 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 1,60 | | 1,10 | -1,76 | | | |
| | | Quarto 2 | 1 | 10,50 | | 2,60 | 27,30 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 0,80 | | 2,00 | -1,60 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 1,40 | | 1,10 | -1,54 | | | |
| | | I.S.B2 | 1 | 4,57 | | 2,60 | 11,88 | | | |
| | | vão a retirar | -1 | 0,80 | | 0,80 | -0,64 | | | |
| | | Hall | 1 | 3,55 | | 2,60 | 9,23 | | | |
| | | vãos a retirar | -1 | 2,40 | | 0,40 | -0,96 | | | |
| | Tetos | | | | | | | 79,67 | | |
| | Rés-do-chão | | | | | | | | | |
| | | Escritório | 1 | | 10,30 | | 10,30 | | | |
| | | I.S.1 | 1 | | 1,85 | | 1,85 | | | |
| | | Sala Comum | 1 | | 32,23 | | 32,23 | | | |
| | | Cozinha | 1 | | 12,76 | | 12,76 | | | |
| | | Garagem | 1 | | 17,54 | | 17,54 | | | |
| | | Hall | 1 | | 11,02 | | 11,02 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | | | |
| | | Sala Comum | 1 | | 13,05 | | 13,05 | | | |
| | | Quarto 1 | 1 | | 12,83 | | 12,83 | | | |

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | |
|--------|--|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un |
| | Quarto 2 | 1 | | 14,42 | | 14,42 | | | |
| | I.S.B1 | 1 | | 4,20 | | 4,20 | | | |
| | I.S.B2 | 1 | | 4,90 | | 4,90 | | | |
| | Hall | 1 | | 8,27 | | 8,27 | | | |
| | | | | | | | 143,35 | | |
| | Revestimento de lajes | | | | | | | 431,71 | m2 |
| | Fornecimento e execução de betonilha de enchimento, composta por betão leve e argila expandida com uma espessura de 0,17 m. | | | | | | | | |
| | Rés-do-chão | | | | | | | | |
| | Escritório | 1 | | 10,30 | | 10,30 | | | |
| | I.S.1 | 1 | | 1,85 | | 1,85 | | | |
| | Sala Comum | 1 | | 32,23 | | 32,23 | | | |
| | Cozinha | 1 | | 12,76 | | 12,76 | | | |
| | Garagem | 1 | | 17,54 | | 17,54 | | | |
| | Hall | 1 | | 11,02 | | 11,02 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | | |
| | Sala Comum | 1 | | 13,05 | | 13,05 | | | |
| | Quarto 1 | 1 | | 12,83 | | 12,83 | | | |
| | Quarto 2 | 1 | | 14,42 | | 14,42 | | | |
| | I.S.B1 | 1 | | 4,20 | | 4,20 | | | |
| | I.S.B2 | 1 | | 4,90 | | 4,90 | | | |
| | Hall | 1 | | 8,27 | | 8,27 | | | |
| | Lajes inclinadas | | | 126,75 | | 126,75 | | | |
| | | | | | | | 270,10 | 270,10 | m2 |
| | Execução de betonilha de regularização, para receber revestimento final, com altura de 0,03 m | | | | | | | | |
| | Rés-do-chão | | | | | | | | |
| | Escritório | 1 | | 10,30 | | 10,30 | | | |
| | I.S.1 | 1 | | 1,85 | | 1,85 | | | |
| | Sala Comum | 1 | | 32,23 | | 32,23 | | | |
| | Cozinha | 1 | | 12,76 | | 12,76 | | | |
| | Garagem | 1 | | 17,54 | | 17,54 | | | |
| | Hall | 1 | | 11,02 | | 11,02 | | | |
| | 1º andar | | | | | | | | |
| | Sala Comum | 1 | | 13,05 | | 13,05 | | | |
| | Quarto 1 | 1 | | 12,83 | | 12,83 | | | |
| | Quarto 2 | 1 | | 14,42 | | 14,42 | | | |
| | I.S.B1 | 1 | | 4,20 | | 4,20 | | | |
| | I.S.B2 | 1 | | 4,90 | | 4,90 | | | |
| | Hall | 1 | | 8,27 | | 8,27 | | | |
| | Lajes inclinadas | | | 126,75 | | 126,75 | | | |
| | | | | | | | 270,10 | 270,10 | m2 |
| | Fornecimento e execução de telhado composto por telha tradicional, implantadas nas lajes inclinadas, incluindo todos os trabalhos e materiais necessários. | 1 | | 126,75 | | 126,75 | | 126,75 | m2 |

MAPA MEDIÇÕES

| Art.ºs | DESIGNAÇÃO DA OBRA | Nº de partes | DIMENSÕES | | | QUANTIDADES | | | |
|--------|---|--------------|-----------|---------|--------|-------------|----------|--------|----|
| | | | comp. | largura | altura | element. | parciais | totais | un |
| Cap. 1 | ESTALEIROS | | | | | | | | |
| | Montagem e desmontagem de estaleiro de acordo com o caderno de encargos, incluindo a implementação do plano de segurança e saúde e trabalhos complementares de sinalização, e todos os materiais, equipamentos e trabalhos necessários. | 1 | | | | | | 1 | vg |
| Cap. 2 | ESTRUTURA | | | | | | | | |
| | Fornecimento e montagem de perfis em aço leve de classe S235 GD zincagem Z275 C90 na constituição das paredes exteriores e interiores, incluindo todos os elementos de ligação entre si, ancoragens e conforme projeto e especificações técnicas. | 1 | 288,36 | | | | | 288,36 | m2 |
| | Fornecimento e montagem de perfis em aço leve de classe S235 GD zincagem Z275 C200 na constituição das vigas de pavimento, incluindo todos os elementos de ligação entre si, ancoragens e conforme projeto e especificações técnicas. | 1 | 167,86 | | | | | 167,86 | m2 |
| | Fornecimento e montagem de perfis em aço leve de classe S235 GD zincagem Z275 C140 na constituição das vigas de cobertura, incluindo todos os elementos de ligação entre si, ancoragens e conforme projeto e especificações técnicas. | 1 | 126,75 | | | | | 126,75 | m2 |
| Cap. 3 | REVESTIMENTOS | | | | | | | | |
| | Fornecimento e aplicação de placas de revestimento OSB 1200x2400x18mm sobre as paredes exteriores, incluindo todos os elementos de ligação entre si, conforme projeto e especificações técnicas. | 1 | 182,07 | | | | | 182,07 | m2 |
| | Fornecimento e aplicação de placas de revestimento OSB 1200x2400x12mm sobre as paredes interiores, incluindo todos os elementos de ligação entre si, conforme projeto e especificações técnicas. | | 106,29 | | | | | 106,29 | m2 |
| | Fornecimento e aplicação de placas de revestimento OSB 1200x2400x18mm sobre a estrutura dos pisos, incluindo todos os elementos de ligação entre si, conforme projeto e especificações técnicas. | | 167,86 | | | | | 167,86 | m2 |
| | Fornecimento e aplicação de placas de revestimento OSB 1200x2400x18mm sobre a cobertura, incluindo todos os elementos de ligação entre si, conforme projeto e especificações técnicas. | | 126,75 | | | | | 126,75 | m2 |