

Instituto Politécnico do Porto



Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Adaptação do programa PAC-Pórticos ao EC2 e sua
integração com o conceito BIM**

Raúl Filipe Teixeira e Sousa

Relatório de Projeto de Mestrado em Engenharia Civil, na especialidade
de Estruturas, apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto
para obtenção do grau de Mestre

Orientador: Ricardo Manuel Pereira Santos
Supervisor Empresa: José Carlos Basto Lino

Outubro, 2015

Agradecimentos

Gostaria de deixar expresso o meu sincero e profundo agradecimento a todas as pessoas que me ajudaram ou de certa forma contribuíram na realização deste trabalho, nomeadamente:

- ❖ Ao meu orientador, Professor Ricardo Manuel Pereira Santos, um especial agradecimento pela sua total disponibilidade e interesse ao longo de todo o trabalho, pelas horas despendidas comigo orientando da melhor forma possível e pela motivação que sempre me transmitiu durante todo o período do desenvolvimento deste trabalho. O meu sincero Muito Obrigado.
- ❖ Ao meu supervisor da empresa, Engenheiro José Carlos Basto Lino, um profundo agradecimento pelo acompanhamento e estímulo na orientação deste trabalho e ainda pela oportunidade de estagiar numa empresa como a Newton, onde pude trabalhar num projeto tão desafiante e gratificante como este.
- ❖ Agradeço também a todos os colaboradores da empresa Newton, desde os engenheiros seniores aos colegas estagiários que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho. Dentro destes destaco a Engenheira Eulália Soares por toda a sua disponibilidade e apoio que me transmitiu desde o dia em que me recebeu na empresa até ao último de estágio e também ao meu colega Cláudio Gomes pela sua cooperação na minha adaptação ao Visual Studio e à linguagem de programação C#.
- ❖ Um especial agradecimento à minha namorada Juliana por todo o incentivo, paciência, e fundamentalmente pela compreensão que teve nos momentos mais difíceis de nervosismo e dos momentos em que estive ausente.
- ❖ Por último quero agradecer aos meus pais, Armando Sousa e Maria Beatriz Sousa por me terem proporcionado todas as condições para que chegasse a esta etapa e por me terem motivado e aconselhado sempre que necessário.

Resumo

Atualmente existe uma grande variedade de programas de cálculo automático de estruturas de betão armado disponíveis no mercado, pois estes, cada vez mais, são inerentes ao desenvolvimento de cada projeto de estruturas.

O PAC-Pórticos foi um dos primeiros a chegar ao mercado nacional surgindo no início da década de noventa. Foi totalmente desenvolvido em Portugal, tendo tido bastante sucesso nas suas vendas a nível nacional.

O PAC-Pórticos não está preparado para operar diretamente nos mais recentes sistemas operativos nem foi programado para dimensionar os diversos elementos de betão armado seguindo os termos das normas mais recentes (Eurocódigos).

O tema do presente trabalho vai de encontro aos atuais problemas do programa, assim sendo, definiu-se como primeiro objetivo a adaptação do PAC-Pórticos à regulamentação europeia para o betão armado.

Numa 1ª fase, para a adaptação do PAC-Pórticos aos novos códigos, foi necessário estudar o programa em si, perceber o seu funcionamento e posteriormente realizar uma comparação entre a legislação para qual o *software* está programado, o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (ainda em vigor) e a Norma Europeia correspondente a EN 1992-1-1 (Eurocódigo 2).

Seguidamente, procedeu-se ao estudo e adaptação de todas as sub-rotinas de cálculo do PAC-Pórticos para o dimensionamento de vigas e pilares, tendo finalmente sido testado o novo código e comprovados os resultados obtidos com o mesmo.

Na realização do presente trabalho, não foi ignorada a importância crescente da metodologia BIM que, nos dias de hoje, tende a ser implementada nos programas de cálculo de engenharia civil. Neste âmbito, o segundo objetivo é o de conseguir visualizar uma solução obtida do PAC-Pórticos numa qualquer ferramenta tridimensional BIM. Para tal, foram ponderadas várias hipóteses, mas optou-se por criar dois *plug-in* para o programa AutoCAD da Autodesk. O primeiro destes *plug-in* contempla o desenho das vigas e o segundo para os pilares, ambos em 3D e elaborados de forma automática.

PALAVRAS-CHAVE: PAC-Pórticos; Regulamentos; REBAP; EC 2; Programação; BIM.

Abstract

Currently there is a wide variety of programs available in the market for automatic calculation of reinforced concrete structures, because they are increasingly associated with the development of any structural project.

The PAC-Pórticos was one of the first to reach the national market, emerging at the early nineties. It was fully developed in Portugal, having been very successful in sales at national level.

Nowadays the PAC-Pórticos is not prepared to operate directly on the last operating systems and was not programmed to scale the various elements of reinforced concrete following the latest codes (Eurocodes).

The theme of this work meets the current program problems, therefore, was defined as first objective to adapt the PAC-Pórticos with European regulations for reinforced concrete.

To start to adapt the PAC-Pórticos to the new codes, it was necessary to study the program itself, understand how it works and after that make a comparison between the regulation that the software are programmed that is Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado - REBAP (still used) and the European one (Eurocode 2).

Then proceeded to the study and adaptation of all the routines and subroutines PAC-Pórticos calculation for the design of beams and columns then it was tested all the new code and verified the results obtained with it.

In this work, it is not ignored the growing importance of BIM methodology that, these days, tend to be implemented in civil engineering calculation programs. In this context, the second objective involves in seeing a solution obtained from the PAC-Pórticos in any three-dimensional BIM tool. To do this, several hypotheses have been considered, but it was decided to create two plug-in for the program AutoCAD of Autodesk. The first one of these plug-in includes the design of beams and the second the columns, both to create 3D drawings automatically.

Keywords: PAC-Pórticos; Regulations; REBAP; EC 2; Programming; BIM.

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Resumo | iii |
| Abstract | v |
| Índice de figuras | xiii |
| Índice de tabelas | xvii |
| Lista de siglas | xix |
| | |
| 1 - Introdução | 1 |
| 1.1 – Enquadramento | 1 |
| 1.2 – Âmbito e objetivos | 3 |
| 1.3 – Estrutura da dissertação | 3 |
| 1.4 – Newton, Consultores de Engenharia, Lda | 4 |
| 2 – Estado da arte | 5 |
| 2.1 – Regulamentação de betão armado | 5 |
| 2.1.1 – Regulamentação em Portugal | 5 |
| 2.1.2 – Regulamentação na Europa | 6 |
| 2.2 – Aplicações informáticas de cálculo estrutural | 8 |
| 2.2.1 – Processo de criação de uma aplicação de cálculo automático | 8 |
| 2.2.2 – PAC-Pórticos | 10 |
| 2.2.2.1 – Descrição geral | 10 |
| 2.2.2.2 – Funcionalidades | 11 |
| 2.2.2.2.1 – Ficheiros | 12 |
| 2.2.2.2.2 – Dados | 12 |
| 2.2.2.2.2.1 – Malha 3D | 13 |
| 2.2.2.2.3 – Ações horizontais | 17 |
| 2.2.2.2.4 – Pórticos | 19 |
| 2.2.2.2.4.1 – Entrada de dados | 19 |
| 2.2.2.2.4.2 – Deformadas e diagramas de esforços | 22 |
| 2.2.2.2.4.3 – Resultados (Pórticos) | 24 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.2.2.4.4 – Encurvadura/Plano | 25 |
| 2.2.2.2.5 – Dimensionamento | 26 |
| 2.2.2.2.5.1 – Vigas | 26 |
| 2.2.2.2.5.1.1 – Armadura/Secção | 27 |
| 2.2.2.2.5.1.2 – Dimensionamento/CAD | 28 |
| 2.2.2.2.5.1.3 – Medição | 29 |
| 2.2.2.2.5.1.3 – Criar ficheiro .DXF (Vigas) | 29 |
| 2.2.2.2.5.2 – Pilares | 30 |
| 2.2.2.2.5.2.1 – Mobilidade | 30 |
| 2.2.2.2.5.2.2 – Dimensionamento/CAD | 31 |
| 2.2.2.2.5.2.3 – Medição | 32 |
| 2.2.2.2.5.2.4 – Criar ficheiro .DXF (Pilares) | 33 |
| 2.2.2.2.5.3 – Sapatas | 33 |
| 2.2.2.2.5.4 – Dimensionamento de pilares e sapatas isoladamente | 37 |
| 2.2.2.2.6 – Opções | 38 |
| 2.2.3 – Cálculo estrutural automático na atualidade | 39 |
| 2.3 – Metodologia BIM | 41 |
| 2.3.1 – O conceito BIM - Building Information Modeling | 41 |
| 2.3.2 – Contextualização histórica | 43 |
| 2.3.3 – O crescente uso do BIM | 45 |
| 2.3.4 – Interoperabilidade e IFC | 47 |
| 3 – Comparação entre regulamentos | 51 |
| 3.1 – Introdução | 51 |
| 3.2 – Comparação REBAP / EC 2 | 53 |
| 3.2.1 – Vigas | 54 |
| 3.2.1.1 – Vigas segundo o REBAP | 54 |
| 3.2.1.2 – Vigas segundo o EC2 | 56 |
| 3.2.1.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Vigas | 58 |
| 3.2.2 – Vigas-Parede | 67 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.2.1 – Vigas-Parede segundo o REBAP..... | 67 |
| 3.2.2.2 – Vigas-Parede segundo o EC2..... | 68 |
| 3.2.2.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Vigas-Parede..... | 69 |
| 3.2.3 – Pilares..... | 73 |
| 3.2.3.1 – Pilares segundo o REBAP..... | 73 |
| 3.2.3.2 – Pilares segundo o EC2..... | 73 |
| 3.2.3.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Pilares..... | 75 |
| 3.2.4 – Efeitos de segunda ordem..... | 77 |
| 3.2.4.1 – Efeitos de segunda ordem segundo o REBAP..... | 77 |
| 3.2.4.2 – Efeitos de segunda ordem segundo o EC2..... | 78 |
| 3.2.4.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Efeitos de segunda ordem..... | 79 |
| 3.2.5 – Paredes..... | 83 |
| 3.2.5.1 – Paredes segundo o REBAP..... | 83 |
| 3.2.5.2 – Paredes segundo o EC2..... | 84 |
| 3.2.5.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Paredes..... | 85 |
| 3.2.6 – Lajes maciças..... | 87 |
| 3.2.6.1 – Lajes maciças segundo o REBAP..... | 87 |
| 3.2.6.2 – Lajes maciças segundo o EC2..... | 89 |
| 3.2.6.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes maciças..... | 90 |
| 3.2.7 – Lajes aligeiradas..... | 94 |
| 3.2.7.1 – Lajes aligeiradas segundo o REBAP..... | 94 |
| 3.2.7.2 – Lajes aligeiradas segundo o EC2..... | 95 |
| 3.2.7.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes aligeiradas..... | 96 |
| 3.2.8 – Lajes fungiformes..... | 98 |
| 3.2.8.1 – Lajes fungiformes segundo o REBAP..... | 98 |
| 3.2.8.2 – Lajes fungiformes segundo o EC2..... | 98 |
| 3.2.8.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes fungiformes..... | 100 |
| 3.2.9 – Fundações..... | 103 |
| 3.2.9.1 – Fundações segundo o REBAP..... | 103 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.9.2 – Fundações segundo o EC2 | 103 |
| 3.2.9.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Fundações..... | 105 |
| 3.2.10 – Fendilhação | 110 |
| 3.2.10.1 – Fendilhação segundo o REBAP..... | 110 |
| 3.2.10.2 – Fendilhação segundo o EC2..... | 111 |
| 3.2.10.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Fendilhação | 112 |
| 3.2.11 – Modelo de escoras e tirantes | 117 |
| 3.2.11.1 – Modelo de escoras e tirantes segundo o REBAP | 117 |
| 3.2.11.2 – Modelo de escoras e tirantes segundo o EC2 | 117 |
| 3.2.11.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Método de escoras e tirantes... | 119 |
| 3.2.12 – Punçoamento..... | 123 |
| 3.2.12.1 – Punçoamento segundo o REBAP | 123 |
| 3.2.12.2 – Punçoamento segundo o EC2 | 123 |
| 3.2.12.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Punçoamento..... | 125 |
| 4 – Dimensionamento dos elementos de betão armado no PAC-Pórticos | 135 |
| 4.1 – Introdução à estrutura de dimensionamento..... | 135 |
| 4.2 – Rotinas e sub-rotinas..... | 136 |
| 4.2.1 – Organização e apresentação do código relativo às vigas | 136 |
| 4.2.2 – Organização e apresentação do código relativo aos pilares..... | 138 |
| 4.3 – Adaptação do código de dimensionamento do PAC-Pórticos | 141 |
| 4.3.1 – Ferramentas utilizadas na adaptação do código..... | 141 |
| 4.3.2 – Alterações realizadas para as vigas | 142 |
| 4.3.2.1 – Verificação do dimensionamento do PAC-Pórticos | 142 |
| 4.3.3 – Alterações realizadas para os pilares..... | 151 |
| 4.3.3.1 – Verificação do dimensionamento do PAC-Pórticos | 151 |
| 5 – Integração do PAC-Pórticos com o conceito BIM..... | 167 |
| 5.1 – Soluções ponderadas na integração com conceito BIM | 167 |
| 5.2 – Criação de <i>plug-in</i> para o AutoCAD | 168 |
| 5.2.1 – <i>Plug-in</i> para as vigas | 169 |

| | |
|--------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.1.1 – Geometria das vigas | 170 |
| 5.2.1.2 – Armaduras transversais..... | 172 |
| 5.2.1.3 – Armaduras longitudinais | 173 |
| 5.2.1.4 – Funcionamento plug-in | 174 |
| 5.2.2 – <i>Plug-in</i> para os pilares | 183 |
| 5.2.2.1 – Geometria do pilar | 183 |
| 5.2.2.2 – Armaduras transversais..... | 184 |
| 5.2.2.3 – Armaduras longitudinais | 184 |
| 5.2.2.4 – Funcionamento plug-in | 185 |
| 5.2.3 – Ligação AutoCAD – Ferramentas BIM | 193 |
| 6 – Considerações finais..... | 195 |
| 7 – Bibliografia | 197 |
| 8 – Anexos | 201 |

Índice de figuras

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Interface do PAC-Pórticos..... | 11 |
| Figura 2 - Inserção de dados (Malha 3D)..... | 13 |
| Figura 3 - Dados gerais (Malha 3D)..... | 14 |
| Figura 4 - Identificação de pórticos (Malha 3D)..... | 15 |
| Figura 5 - Lajes (Malhas 3D)..... | 16 |
| Figura 6 - Planta piso (Malha 3D)..... | 16 |
| Figura 7 - Ação do vento (Malhas 3D)..... | 17 |
| Figura 8 - Ações horizontais com três graus de liberdade..... | 18 |
| Figura 9 - Entrada de dados – Pórticos..... | 20 |
| Figura 10 - Ações no pórtico..... | 20 |
| Figura 11 - Coeficientes de majoração das ações..... | 21 |
| Figura 12 - Deformada associada às cargas permanentes | 22 |
| Figura 13 - Deformada associada à ação sísmica..... | 22 |
| Figura 14 - Diagrama de momentos na viga (piso nº 1)..... | 23 |
| Figura 15 - Diagramas de momentos nos pilares | 23 |
| Figura 16 - Diagrama de esforço transversal na viga (piso nº 1) | 24 |
| Figura 17 - Convenção de sinais adotada como positiva no PAC-Pórticos | 25 |
| Figura 18 - Parcela do ficheiro correspondente a esforços máximos (.RES)..... | 25 |
| Figura 19 - Parcela do ficheiro correspondente ao dimensionamento do pilar (.RPL) | 26 |
| Figura 20 - Resultados da opção "Armadura/secção" das vigas (.ARM)..... | 27 |
| Figura 21 - Resultados da opção "Dimensionamento/CAD" das vigas (.VCD) | 28 |
| Figura 22 - Resultados da opção "Medição" das vigas (.MED)..... | 29 |
| Figura 23 - Desenhos de uma viga retirado do PAC-Pórticos..... | 30 |
| Figura 24 - Mobilidade dos pilares (2 métodos) | 31 |
| Figura 25 - Resultados da parcela "Dimensionamento/CAD" dos pilares (.RPG)..... | 32 |
| Figura 26 - Desenhos dos pilares retirados do PAC-Pórticos | 33 |
| Figura 27 – Planta de fundações | 34 |
| Figura 28 – Parcela de edição da sapata..... | 35 |
| Figura 29 - Resultados da parcela "Dimensionamento/CAD" das sapatas (.RSG)..... | 36 |
| Figura 30 – Desenho da sapata retirado do PAC-Pórticos | 37 |
| Figura 31 - Ciclo da metodologia BIM [7]..... | 42 |
| Figura 32 - Modelo tridimensional BIM [30] | 42 |
| Figura 33 – Aumento do uso da metodologia BIM pelos partícipes em obra [21] | 46 |
| Figura 34 – Previsão do crescimento da metodologia BIM [25]..... | 47 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 35 – Versões disponibilizadas do IFC [18]..... | 49 |
| Figura 36 – Interoperabilidade entre sistemas [23] | 49 |
| Figura 37 – Representação da interrupção da armadura longitudinal, tendo em conta os efeitos considerados..... | 60 |
| Figura 38 – Representação da interrupção da armadura longitudinal, tendo em conta os efeitos considerados..... | 60 |
| Figura 39 – Amarração de armaduras inferiores | 61 |
| Figura 40 – Efeitos de torção. | 64 |
| Figura 41 – Colocação da armadura de suspensão na zona de intersecção de duas vigas. | 66 |
| Figura 42 – Representação de diferentes modos de encurvadura e correspondentes comprimentos efetivos..... | 80 |
| Figura 43 – Armadura de bordo livre..... | 92 |
| Figura 44 – Armadura de bordo livre..... | 92 |
| Figura 45 – Dimensões das nervuras..... | 96 |
| Figura 46 – Dimensões das nervuras..... | 96 |
| Figura 47 – Armadura a dispor na lajeta..... | 97 |
| Figura 48 – Pórticos equivalentes - REBAP | 100 |
| Figura 49 – Pórticos equivalentes – EC2 | 100 |
| Figura 50 – Armaduras de pilares de canto ou bordo..... | 101 |
| Figura 51 – Área comprimida que aumenta a capacidade de amarração. | 105 |
| Figura 52 – Armadura ortogonal em sapatas circulares | 106 |
| Figura 53 – Modelo da força de tração considerando fendas inclinadas..... | 107 |
| Figura 54 – Sapatas fundadas em rocha | 108 |
| Figura 55 – Valor de cálculo da resistência das escoras de betão na ausência de trações transversais. | 119 |
| Figura 56 – Valor de cálculo da resistência das escoras de betão sujeitas a tração transversal. | 119 |
| Figura 57 – Determinação das forças de tração transversais num campo de tensões de compressão com armaduras. | 120 |
| Figura 58 – Nó comprimido sem tirantes..... | 121 |
| Figura 59 – Nó sujeito à compressão e à tração com armaduras numa direção..... | 121 |
| Figura 60 – Nó sujeito à compressão e à tração com armaduras em duas direções..... | 122 |
| Figura 61 – Perímetro de controlo - REBAP | 126 |
| Figura 62 – Perímetro de controlo – EC2..... | 126 |
| Figura 63 – Perímetro de controlo junto a aberturas..... | 127 |
| Figura 64 – Perímetro de controlo para áreas carregadas junto a um bordo livre ou a um canto. . | 127 |
| Figura 65 – Laje sobre capitel com $lH < 2hH$ | 128 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 66 – Laje sobre capitel com $lH > 2hH$ | 128 |
| Figura 67 – Perímetro do primeiro perímetro de controlo reduzido. | 131 |
| Figura 68 – Valores aproximados | 132 |
| Figura 69 – Disposição da armadura de punçoamento..... | 133 |
| Figura 70 – Espaçamento entre ramos. | 133 |
| Figura 71 – Perímetros de controlo para pilares interiores..... | 133 |
| Figura 72 – Fluxograma do código de dimensionamento das vigas. | 136 |
| Figura 73 – Fluxograma do código de dimensionamento dos pilares. | 138 |
| Figura 74 – Pórtico utilizado na análise. | 143 |
| Figura 75 – Diagrama de esforços transversos para a viga do primeiro piso. | 144 |
| Figura 76 – Diagrama de momentos fletores na viga do primeiro piso. | 144 |
| Figura 77 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD). | 148 |
| Figura 78 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD) - REBAP. | 150 |
| Figura 79 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD) – EC2 | 150 |
| Figura 80 – Estrutura utilizada na análise. | 152 |
| Figura 81 – Pórticos definidos na estrutura..... | 153 |
| Figura 82 – Diagrama de momentos nos pilares do pórtico 1..... | 153 |
| Figura 83 – Diagrama de momentos nos pilares do pórtico 3..... | 154 |
| Figura 84 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG). | 164 |
| Figura 85 – Distribuição das armaduras longitudinais. | 165 |
| Figura 86 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG). – REBAP. | 166 |
| Figura 87 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG). – EC2..... | 166 |
| Figura 88 – União de elementos horizontais com pilar intermédio..... | 170 |
| Figura 89 – União de elemento horizontal com pilar de extremidade. | 171 |
| Figura 90 – Distâncias consideradas no ficheiro (.VCD). | 172 |
| Figura 91 – Plug-in para o desenho das vigas (versão 1.0). | 174 |
| Figura 92 – Ficheiro (.VCD) dos tramos a desenhar,..... | 175 |
| Figura 93 – Ficheiro (.ARM) dos tramos a desenhar, | 176 |
| Figura 94 – Desenho barra 5 completa..... | 176 |
| Figura 95 – Pormenor barra 5, | 177 |
| Figura 96 – Desenho da barra 6 completa. | 177 |
| Figura 97 – Pormenor da barra 6 com dispensas da armadura longitudinal..... | 178 |
| Figura 98 – Perfil transversal da barra 6. | 178 |
| Figura 99 – Viga lateral da barra 7 completa. | 179 |
| Figura 100 – Pormenor da barra 7..... | 179 |
| Figura 101 – Plug-in para o desenho das vigas (versão 2.0). | 180 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 102 – Identificação do pilar a que se insira a largura (exemplo - apoio 1)..... | 181 |
| Figura 103 – Inserção da largura do pilar..... | 181 |
| Figura 104 – Desenho de viga completa barras (5, 6 e 7). | 181 |
| Figura 105 – Pormenor viga completa barras (5, 6 e 7) – extremidade esquerda. | 182 |
| Figura 106 – Pormenor viga completa barras (5, 6 e 7) – ligação entre tramos..... | 182 |
| Figura 107 – Plug-in para o desenho dos pilares (versão 1.0)..... | 185 |
| Figura 108 – Ficheiro (.RPG) dos tramos a desenhar, | 186 |
| Figura109 – Barra (Fund. – Piso 1) completa..... | 187 |
| Figura 110 – Pormenor 1 - barra (Fund. – Piso 1). | 187 |
| Figura 111 – Pormenor 2 - barra (Fund. – Piso 1). | 187 |
| Figura 112 – Barra (Piso 1 – Piso 2) completa..... | 188 |
| Figura 113 – Pormenor 1 - barra (Piso 1 – Piso 2)..... | 188 |
| Figura 114 – Perfil transversal - barra (Piso 1 – Piso 2). | 188 |
| Figura 115 – Barra (Piso 2 – Piso 3) completa..... | 189 |
| Figura 116 – Pormenor 1 - barra (Piso 2 – Piso 3)..... | 189 |
| Figura 117 – Pormenor 2 - barra (Piso 2 – Piso 3)..... | 189 |
| Figura 118 – Pormenor amarração das armaduras para dois lados. | 190 |
| Figura 119 – Plug-in para o desenho dos pilares (versão 2.0)..... | 191 |
| Figura 120 – Barra exemplo completa..... | 192 |
| Figura 121 – Pormenor da barra exemplo..... | 192 |
| Figura 122 – Visualização da viga desenhada no Revit..... | 193 |
| Figura 123 – Exportar para IFC diretamente do AutoCAD – Architecture. | 194 |

Índice de tabelas

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Evolução da regulamentação nacional [27] | 6 |
| Tabela 2 – Espaçamento máximo dos varões. - REBAP..... | 59 |
| Tabela 3 - Espaçamento máximo dos varões. – EC 2 | 59 |
| Tabela 4 – Taxas mínimas de armadura..... | 62 |
| Tabela 5 – Valores para o expoente “a” | 82 |
| Tabela 6 – Distribuição de momentos. - REBAP..... | 100 |
| Tabela 7 – Distribuição de momentos – EC 2..... | 100 |
| Tabela 8 – Área mínima da estaca e das respectivas armaduras longitudinais | 109 |
| Tabela 9 – Largura de fendas máxima para armaduras ordinárias | 112 |
| Tabela 10 – Largura de fendas máxima para armaduras de pré-esforço | 113 |
| Tabela 11 – Largura de fendas máxima para as diferentes classes de exposição..... | 113 |
| Tabela 12 – Valores para o coeficiente “k”..... | 129 |

Lista de siglas

Regulamentação do betão armado:

| | |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $EC\ 2$ | Eurocódigo 2. |
| $REBAP$ | Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. |
| A_{alma} | Armadura de alma. |
| A_c | Área da secção de betão. |
| A_{ct} | Área de betão tracionado, imediatamente antes da primeira fenda. |
| a_l | Valor da translação. |
| A_k | Área limitada pelas linhas médias das paredes. |
| $A_{s,dbmín}$ | Armadura de alma mínima em vigas-parede. |
| $A_{s,máx}$ | Área máxima de armaduras. |
| $A_{s,mín}$ | Área mínima de armaduras. |
| $A_{s,surf}$ | Armadura de superfície. |
| A_{sl} | Armaduras longitudinais. |
| A_{st} | Armaduras transversais. |
| $A_{sw,mín}$ | Área mínima de armaduras de esforço transverso existente no comprimento s . |
| A_{sw} | Área de armaduras de esforço transverso. |
| b | Largura de uma secção transversal / banzo. |
| b_{apoio} | Largura de apoio. |
| b_{eff} | Largura efetiva do banzo. |
| b_t | Largura média da zona tracionada. |
| b_w | Largura da alma da secção. |
| d | Altura útil da secção. |
| e | Espessura do elemento. |
| e_a | Excentricidade acidental. |
| e_2 | Excentricidade de segunda ordem. |
| e_c | Excentricidade de fluência. |
| f_{cd} | Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão. |
| f_{ck} | Valor característico da tensão de rotura do betão aos 28 dias. |
| f_{ctm} | Valor médio da tensão de rotura do betão à tracção simples. |
| f_{syd} | Valor de cálculo da tensão de cedência do aço. |
| f_{yd} | Valor de cálculo da tensão de cedência do aço. |
| f_{yk} | Valor característico da tensão de cedência do aço. |

| | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{ct,eff}$ | Valor médio da resistência do betão à tracção à data em que se prevê que se possam formar as primeiras fendas. |
| h | Altura do elemento. |
| h_f | Espessura do banzo na ligação. |
| h_{tot} | Altura total da estrutura acima das fundações. |
| i | Raio de giração. |
| k_1 e k_2 | Flexibilidades relativas dos encastramentos parciais das extremidades. |
| k_c | Coefficiente que tem em conta a distribuição de tensões na secção, imediatamente antes da fendilhação e da variação do braço do binário. |
| k_l | Coefficiente para o caso de lajes fungiformes em que o vão é superior a 8,5m, e que suportam divisórias que possam ser danificadas por flechas excessivas. |
| k_t | Coefficiente para o caso de secções em T com uma relação entre a largura do banzo e a largura da alma superior a 3. |
| $k_{\sigma s}$ | Coefficiente de relação para os níveis de tensão. |
| k | Coefficiente que considera o efeito das tensões não uniformes auto-equilibradas. |
| K_r | Fator de correção dependente do esforço normal. |
| K_φ | Coefficiente que tem em conta a fluência. |
| L | Distância entre eixo dos apoios. |
| l | Comprimento / Vão. |
| l_{ba} | Comprimento de amarração. |
| l_0 | Vão livre. (Vigas) e Comprimento efetivo (Pilares). |
| l_i | Vão equivalente. |
| $\left(\frac{l}{d}\right)^*$ | Relação vão/altura útil teórica. |
| $\left(\frac{l}{d}\right)$ | Relação Vão/altura útil limite. |
| M_{0e} | Momento de primeira ordem equivalente. |
| M_{0Ed} | Momento de primeira ordem. |
| M_{02} e $M_{sd,a}$ | Momento maior das extremidades. |
| M_{01} e $M_{sd,b}$ | Momento menor das extremidades. |
| M_2 | Momento de segunda ordem. |
| M_{Ed} | Valor de cálculo do momento fletor atuante. |
| M_{Sd} | Momento fletor atuante. |
| N_B | Carga de encurvadura baseada na rigidez nominal. |
| N_{Ed} | Valor de cálculo do esforço normal atuante. |
| s | Espaçamento entre varões. |
| $s_{b,máx}$ | Espaçamento longitudinal máximo de varões inclinados. |
| $s_{l,máx}$ | Espaçamento longitudinal máximo entre armaduras de esforço transverso. |

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $s_{t,máx}$ | Espaçamento transversal máximo entre ramos de estribos. |
| S_{rm} | Distância média entre fendas. |
| $S_{rmáx}$ | Distância máxima entre fendas. |
| T_{Ed} | Valor de cálculo do momento torsor atuante, |
| $T_{Rd,c}$ | Momento Torsor de fendilhação. |
| $T_{Rd,máx}$ | Valor de cálculo do momento torsor resistente. |
| T_{Rd} | Momentos Torsor resistente. |
| T_{cd} | Capacidade resistente à torção da secção de betão. |
| T_{ld} | Momento Torsor resistente referente as armaduras longitudinais de torção. |
| T_{td} | Momento Torsor resistente referente as armaduras transversais de torção. |
| $t_{ef,i}$ | Espessura eficaz da parede. |
| V_{Ed} | Esforço Transverso atuante. |
| $V_{Rd,c}$ | Esforço Transverso resistente da secção de betão. |
| $V_{Rd,máx}$ | Esforço Transverso resistente máximo, limitado pela resistência das escoras. |
| $V_{Rd,s}$ | Esforço Transverso resistente referente a armaduras de esforço transverso. |
| V_{Rd} | Esforço Transverso resistente. |
| V_{Sd} | Esforço Transverso actante. |
| V_{cd} | Esforço Transverso resistente da secção de betão. |
| V_{wd} | Esforço Transverso resistente referente às armaduras de esforço transverso. |
| u_1 | Primeiro perímetro de controlo. |
| u_{ef} | Perímetro da linha média da secção oca eficaz. |
| u_k | Perímetro da área A_k . |
| W_k | Largura da abertura de fendas. |
| W_m | Valor médio da largura das fendas. |
| Z | Binário das forças. |
| a_l | Distância de translação do diagrama de momentos fletores |
| ε_{cm} | Extensão média do betão entre fendas. |
| ε_{sm} | Extensão média das armaduras. |
| η | Coefficiente relacionado com o tipo de aço utilizado. |
| λ | Esbelteza. |
| ρ | Taxa de armadura. |
| $\rho_{w,mín}$ | Taxa mínima de armaduras de esforço transverso. |
| ρ_w | Taxa de armaduras de esforço transverso. |
| σ_s | Tensão nas armaduras de tracção. |
| τ_1 e τ_2 | Valores de tensão tabelados, Quadros VI e VII. |

| | |
|----------------|---------------------------------------------|
| $\tau_{t,i}$ | Tensão tangencial de torção na parede i . |
| ν_{Ed} | Tensão de corte longitudinal. |
| φ_{ef} | Coefficiente de fluência efetivo. |

Integração com conceito BIM:

| | |
|------------|---------------------------------------|
| <i>2D</i> | Bidimensional. |
| <i>3D</i> | Tridimensional. |
| <i>AEC</i> | Arquitetura, Engenharia e Construção. |
| <i>BIM</i> | Building Information Modeling. |
| <i>C#</i> | Linguagem de programação C Sharp. |
| <i>CAD</i> | Computer-Aided Desing. |
| <i>IDE</i> | Integrated Development Environment. |
| <i>IFC</i> | Industry Foundation Classes. |

1 - Introdução

1.1 – Enquadramento

A utilização, pelo Homem, de máquinas auxiliares para o tratamento de informação é conhecida há muitos séculos. Os primeiros dispositivos têm a sua origem perdida nos tempos, como é o caso do ábaco e do quadrante.

Ao longo dos tempos, com o avanço tecnológico e com a junção de ideias, foram surgindo diversos equipamentos que auxiliavam o Homem no tratamento e processamento de informação. O desenvolvimento foi progressivo até chegar à construção do computador digital, utilizado nos dias de hoje.

Nos primeiros tempos da computação, os programas eram escritos em código máquina e consistiam na representação dos dados por sequências de zeros e uns, que desencadeiam determinadas ações no processador. No entanto, logo se percebeu que, os programas criados com este sistema eram extremamente difíceis de ler e decifrar, logo, tornavam-se praticamente impossível de editar e modificar.

A comunidade informática, rapidamente percebeu que era necessário criar uma notação simbólica, para tornar os programas mais fáceis de escrever e editar. Iniciou-se assim uma busca por linguagens de programação que permitissem inserir os algoritmos em termos análogos à ideia criada na mente do programador. Essa investigação fez com que mais tarde fossem surgindo os primeiros compiladores, assim como, as chamadas linguagens de alto nível, que são as utilizadas atualmente.

À medida que as potencialidades da informática foram crescendo, muitas áreas científicas associaram-se de forma quase imediata a estes avanços tecnológicos. A engenharia civil não foi exceção, pois, rapidamente se implementaram diversos programas relacionados com a área.

A utilização de *software* acabou por tornar o ritmo de trabalho incomparavelmente maior se comparado com a época “pré-informática”, por essa razão, uma das formas de um engenheiro civil se tornar competitivo no mercado de trabalho foi recorrer aos mais diversos programas disponíveis.

Um dos primeiros programas a aparecer no mercado nacional foi o PAC-Pórticos, surgiu por volta de 1991, e foi totalmente desenvolvido em Portugal.

O PAC-Pórticos é um programa de cálculo estrutural, que, para além de executar o dimensionamento automático de elementos em betão armado, também elabora os desenhos de forma automática, gravando os desenhos num formato de ficheiro específico que permite ao utilizador realizar alterações nos mesmos, algo que foi inovador no seu tempo. Tudo isto implica que o programa possua uma algoritmia de programação complexa, cujo código é composto por diversas linguagens de programação, algumas destas de baixo nível que em conjunto somam cerca de 200.000 linhas de código. Por possuir um código tão vasto em diversas linguagens distintas, torna-se muito difícil e de certa forma inviável a sua total modificação.

O *software* está direcionado para os regulamentos que estavam em vigor na altura da sua criação, ou seja, o Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, REBAP e o Regulamento de Segurança a Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes, RSAEEP.

Atualmente é um programa de cálculo automático desatualizado em termos da legislação para o qual está programado e também pelo facto de não estar preparado para operar nos mais recentes sistemas operativos.

O PAC-Pórticos pode ser recriado, adaptado às novas legislações e aos modos de utilização atuais, assim como, integrado com as metodologias de trabalho que se preveem ser utilizadas no futuro. Destas metodologias, a que se tem destacado ultimamente é o BIM, pois é notório que nos últimos tempos tem existido um acréscimo muito acentuado na aplicação desta metodologia em todas as novas obras, sendo inclusive obrigatória em vários países nórdicos, estando prestes a o ser também no Reino Unido, além de muitos outros países no mundo que estão a evoluir nesse sentido.

O BIM, muito genericamente, consiste na criação de modelos digitais integrados recorrendo a um *software* onde são inseridas todas as informações da estrutura, criando um modelo digital integrado de todas as especialidades, sendo que o mesmo acompanha todo o ciclo de vida da edificação. A modelação 3D paramétrica e a interoperabilidade são características essenciais que dão suporte a esse conceito.

Dentro do universo BIM, há um formato de ficheiro que se tem destacado nos últimos tempos, mais do que qualquer outro, no que diz respeito à interoperabilidade entre sistemas. Este modelo de dados é o IFC (Industry Foundation Classes). Desenvolvido atualmente pela buildingSMART, pretende-se que o modelo IFC funcione como a ponte de ligação entre todas as aplicações BIM.

1.2 – Âmbito e objetivos

O presente documento foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular DIPRE (Dissertação, Projeto e Estágio) do Mestrado em Engenharia Civil – Estruturas. O tema foi desenvolvido em ambiente empresarial, mais concretamente na empresa Newton, Consultores de Engenharia, Lda.

O trabalho consiste em contribuir para a evolução do programa PAC-Pórticos, adaptando o seu código-fonte à regulamentação europeia. Foi ainda objetivo deste trabalho integrar o programa com o conceito BIM. Para tal, por motivos já apresentados, convinha guardar os resultados obtidos com o programa no formato de ficheiro IFC, não descartando, no entanto, outras possibilidades. Com isto, pretende-se que os resultados sejam utilizáveis numa ferramenta BIM, onde será possível visualizar todas as especificidades das peças dimensionadas, desde a secção, até à distribuição das armaduras transversais e longitudinais.

1.3 – Estrutura da dissertação

A dissertação é constituída por seis capítulos contendo os seguintes conteúdos:

- ❖ Neste primeiro capítulo, designado “Introdução” é feita uma justificação do tema,
- ❖ O segundo capítulo corresponde ao “Estado da Arte”. O seu conteúdo está organizado da seguinte forma:
 - Numa primeira fase é abordado o tema da evolução da regulamentação de betão armado, tanto a nível nacional como europeu.
 - Seguidamente são abordadas diversas matérias relacionadas com o desenvolvimento de *software* e sua ligação com a engenharia civil, entre eles:
 - O processo de criação de um *software*, dando destaque a algumas etapas desse procedimento.
 - Apresentação do programa em estudo, o PAC-Pórticos.
 - Cálculo estrutural automático nos dias de hoje, sendo apresentadas algumas características de alguns dos programas mais utilizados atualmente.
 - Por fim são abordados os principais aspetos da metodologia BIM, dando destaque ao formato de ficheiro IFC.

- ❖ O terceiro capítulo “Comparação entre regulamentos” apresentará uma comparação entre os regulamentos relativos ao betão armado e pré-esforçado, nomeadamente entre a regulamentação nacional ainda em vigor “REBAP” e a regulamentação europeia “Eurocódigo 2”.
- ❖ No quarto capítulo “Dimensionamento dos elementos de betão armado no PAC-Pórticos”, será dada continuidade ao trabalho iniciado por Nuno Gomes realizado ao longo do seu estágio na Newton, adaptando código do PAC-Pórticos do REBAP para o EC2.
- ❖ O quinto capítulo “Integração do PAC-Pórticos com o conceito BIM” consiste na integração do PAC-Pórticos com a metodologia BIM. Neste capítulo serão abordadas todas as hipóteses consideradas para atingir o objetivo e posteriormente é apresentada a solução adotada.
- ❖ O último capítulo “Considerações Finais”, inclui uma síntese do trabalho realizado, onde são apresentadas as principais conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros a realizar de forma a dar sequência ao trabalho desenvolvido.

1.4 – Newton, Consultores de Engenharia, Lda.

Todo o presente trabalho foi elaborado em ambiente empresarial mais concretamente na Newton, Consultores de Engenharia, Lda.

A Newton foi criada durante o ano de 1990 com base num grupo de engenheiros civis que alia uma vasta experiência no campo da investigação e ensino à capacidade de resposta concreta às exigências da engenharia civil.

Ao longo do tempo a empresa expandiu a sua área de atividade e o âmbito das suas intervenções, abrangendo, nos dias de hoje, as áreas relacionadas com todos os projetos de especialidade, com a coordenação de projetos e assistência técnica e com os estudos e peritagens de consultoria.

Atualmente a Newton é uma empresa credível e estável no mercado, o que tem-se traduzido na consulta e adjudicação de diversas obras de relevo, entre elas, o terminal de cruzeiros de Leixões inaugurado durante o corrente ano.

Por possuir continuamente nos seus quadros especialistas de diferentes ramos, acabou por desenvolver o seu próprio programa de cálculo automático, fruto de vários anos de investigação e de prática profissional, assegurando no entanto a máxima eficiência no dimensionamento estrutural. Do desenvolvimento do departamento de *software* de cálculo de Estruturas da Newton, resultou a criação e posterior comercialização do *software* PAC-Pórticos.

2 – Estado da arte

2.1 – Regulamentação de betão armado

2.1.1 – Regulamentação em Portugal

As primeiras regulamentações na área do betão armado surgiram na Alemanha em 1904, em França em 1906 e na Grã-Bretanha em 1907. Todas elas basearam-se nas primeiras teorias de cálculo desenvolvidas, sobretudo a partir da obra de Tedesco e Coinet denominada “Calcul des ouvrages en ciment avec ossature métallique” publicada em 1894. [27]

Portugal não foi exceção, tendo criado inicialmente dois regulamentos relacionados com a construção, o primeiro datado de 1897 e orientado para a construção metálica (Regulamento para projetos, provas e vigilância das pontes metálicas) e o segundo datado de 1903 e orientado para as edificações urbanas correntes (Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas - RSEU). Relativamente às relativas ao betão armado, a primeira regulamentação surgiu em Portugal no ano de 1918, e era designada “Regulamento para o emprego do beton armado”. [27]

Posteriormente foram aparecendo novos regulamentos nacionais para o betão armado, revogando os precedentes, a justificação para o surgimento de cada um destes foram os progressos científicos e tecnológicos registados ao longo do tempo neste domínio da técnica da construção que impunham uma revisão profunda dos seus preceitos.

O último regulamento nacional relacionado com o betão armado, ainda hoje em vigor, surgiu no ano de 1983 e foi designado Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado – REBAP.

O REBAP compõe uma síntese de todas as aquisições inovadoras até então, como o efeito das deformações impostas ou fluência do betão. Neste regulamento unificou-se pela primeira vez num só princípio, perfeitamente racional e harmonioso, as técnicas até então separadas do betão armado e do betão pré-esforçado.

É apresentada de seguida uma tabela (retirada do site do departamento de estruturas do LNEC) organizada por ordem cronológica, do mais antigo para o mais recente, dos regulamentos nacionais na área da construção:

| Data | Regulamento | Decreto | Observações |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|
| 1897 | Regulamento para projectos, provas e vigilância das pontes metálicas | ... | Revogado |
| 1903 | Regulamento de Salubridade das Edificações Urbanas (RSEU) | ... | Revogado |
| 1918 | Regulamento para o emprego do beton armado | Decreto nº 4036 de 28 de Março | Revogado |
| 1929 | Regulamento de Pontes Metálicas (RPM) | Decreto nº 16781 de 10 de Abril | Revogado |
| 1935 | Regulamento do Betão Armado (RBA) | Decreto nº 25948 de 16 de Outubro | Revogado |
| 1951 | Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) | Decreto nº 38382 de 7 de Agosto | Revogado |
| 1958 | Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (RSCCS) | Decreto nº 41658 de 31 de Maio | Parcialmente revogado |
| 1961 | Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP) | Decreto nº 44041 de 18 de Novembro | Revogado |
| 1965 | Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE) | Decreto nº 46160 de 19 de Janeiro | Aplicado em conjunto com o RSEP |
| 1967 | Regulamento de Estruturas de Betão Armado (REBA) | Decreto nº 47723 de 20 de Maio | Aplicado em conjunto com o RSEP |
| 1983 | Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) | Decreto-Lei nº 235/83 de 31 de Maio | - |
| 1983 | Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado (REBAP) | Decreto-Lei nº 349-C/83 de 30 de Julho | Aplicado em conjunto com o RSA |
| 1986 | Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAE) | Decreto-Lei nº 21/86 de 31 de Julho | Aplicado em conjunto com o RSA |

Tabela 1 - Evolução da regulamentação nacional [27]

2.1.2 – Regulamentação na Europa

Relativamente à evolução da regulamentação a nível europeu, os primeiros progressos técnicos e cooperações internacionais na Europa levaram à criação em 1951 da FIP – Fédération Internationale de la Précontrainte, que realizou o primeiro Congresso em 1953.

No mesmo ano foi fundado o CEB – Comité Européen du Béton, constituído por investigadores e académicos. Este comité visava fundamentalmente a coordenação e investigação no campo do betão

estrutural, com o fim último de estabelecer recomendações práticas. O CEB produziu as primeiras no ano de 1964 denominadas “Recommandations Pratiques à l’Usage des Constructeurs”.

Em 1975 a Comissão da Comunidade Europeia (CCE) deu início ao trabalho de preparar um conjunto de normas técnicas compatibilizadas para o projeto de edifícios e outras obras de engenharia civil, que serviram inicialmente como alternativa para as diversas regulamentações em vigor nos respetivos estados membros e, posteriormente as substituíram. Essas normas técnicas harmonizadas passaram a ser designadas Eurocódigos Estruturais.

Em 1989, após consultar os vários estados membros, a CCE transferiu o trabalho de desenvolver, publicar e atualizar os Eurocódigos Estruturais para o Comité Europeu de Normalização (CEN), tendo criado, para o efeito, uma Comissão Técnica, designada CEN/TC250 “Structural Eurocodes”, responsável por todos os Eurocódigos Estruturais.

Cada um dos Eurocódigos criados depois de concluídos e aprovados para publicação sob a direção da CE, foram publicados pelo CEN como Pré-Normas Europeias (ENV) com um período de validade inicial. Este prazo estabelecido tinha como objetivo o de recolher informações resultantes da sua aplicação. Ao fim de dois anos as críticas e reações dos membros do CEN foram recolhidas e tidas em consideração na elaboração das normas definitivas, designadas Normas Europeias (EN). Atualmente, estão já publicadas pelo CEN todas as 58 Normas Europeias (EN) que constituem os Eurocódigos Estruturais.

Em Portugal, a tradução dos Eurocódigos e a elaboração dos “anexos nacionais” é responsabilidade do IPQ – Instituto Português da Qualidade, coordenada pelo LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, que constituiu, para o efeito, uma comissão, designada CT115, dividida em grupos de trabalho, para cada um dos dez Eurocódigos. Dentro destes, o referente ao projeto de estruturas de betão, de certa forma equivalente ao REBAP, é o Eurocódigo 2.

2.2 – Aplicações informáticas de cálculo estrutural

2.2.1 – Processo de criação de uma aplicação de cálculo automático

Pode-se definir o *software*, numa forma clássica, como sendo: "um conjunto de instruções que, quando executadas, produzem a função e o desempenho desejados, estruturas de dados que permitam que as informações relativas ao problema a resolver sejam manipuladas adequadamente e a documentação necessária para um melhor entendimento da sua operação e uso". [20]

Neste capítulo vão ser abordadas, de uma forma genérica, as etapas para o desenvolvimento de um *software* de aplicação. Geralmente, quando se pretende desenvolver por meios informáticos uma determinada aplicação, com alguma complexidade, é imprescindível seguir as seguintes fases:

- Fase de resolução do problema
- Fase de implementação

A primeira fase na criação de uma aplicação é a fase de resolução do problema. Esta trata-se de uma etapa fundamental para a resolução rápida e eficaz de uma aplicação, uma vez que, é preciso entender de um modo aprofundado o que é pedido para depois conceber a sua resolução.

Inicialmente na fase da resolução do problema, procede-se ao estudo teórico aprofundado do problema. Posteriormente, depois de compreendido o problema, passa-se à esquematização da solução, elaborando diagramas, onde de uma forma simples se representam todas as entidades, processos, fluxos de informação e armazenamentos de dados envolvidos. Tudo isto resulta num esquema genérico, que contém em si a resolução do problema.

Após serem esquematizados diagramas com a solução genérica do problema passa-se à etapa de definir de forma estruturada, clara e eficiente os passos que o computador deve seguir segundo uma sequência lógica de operações sobre os dados. Esta sequência lógica de operações é designada algoritmo, que não é mais que a resolução do problema, passo a passo.

O algoritmo pode ser representado de diversas formas, uma delas, são os fluxogramas que são bastante intuitivos principalmente em algoritmos simples. Um fluxograma é a representação de um algoritmo num formato gráfico, este torna a leitura e interpretação destes facilitada. Outra forma de representar os algoritmos é o pseudo-código. O pseudo-código ou pseudo-linguagem é uma linguagem artificial e informal que ajuda os programadores a desenvolver o processo de programação. A representação com pseudo-código, na generalidade dos casos, é suficientemente

geral para permitir que a tradução de um algoritmo nele representado para uma linguagem de programação específica seja praticamente direta.

Com base nestes algoritmos, preferencialmente representados em pseudo-código, desenvolvem-se os programas, sendo que, para isso é necessário recorrer a uma linguagem de programação.

Nesta parte inicia-se a segunda fase na criação de uma aplicação que é a fase de implementação. Esta consiste em transcrever para o computador, usando uma linguagem de programação específica, a definição dos dados e o algoritmo gerando-se assim o código-fonte.

Uma linguagem de programação é um método uniformizado para comunicar instruções para um computador, pois este apenas é capaz de interpretar a linguagem designada linguagem máquina. Logo, a linguagem de programação tem a função de traduzir o conteúdo inserido pelo programador para o código legível pela máquina. Atualmente, as linguagens de programação são incomparavelmente mais intuitivas se comparadas com as usadas no início da era da programação, prevendo-se que no futuro o programador possa expressar as suas intenções de forma idêntica à linguagem natural, que não é mais do que a maneira como expressamos o nosso raciocínio e trocamos informação.

Depois de estar todo o código programado numa determinada linguagem de programação, de estar compilado e de ter sido ligado entre si (*linkagem*), passa-se à última etapa, tratando-se da fase de testes onde é testada a aplicação para verificar a sua integridade e eficiência. A fase de testes só se dá por terminada após a aplicação desenvolvida ter sido testada por vários utilizadores e se comprovar que não existem erros.

2.2.2 – PAC-Pórticos

2.2.2.1 – Descrição geral

Nos dias de hoje o desenvolvimento de um projeto de estruturas é inerente a diversos *software* de cálculo, dimensionamento e desenho. Os programas permitem por um lado, uma simplificação de tarefas, o que resulta numa maior rapidez na obtenção de resultados, assim como, a realização de análise de modelos mais realistas conseguindo, conseqüentemente, soluções mais seguras e económicas.

O programa PAC-Pórticos, Projeto de Pórticos Assistido por Computador, está preparado para realizar o dimensionamento de estruturas porticadas correntes. Para a grande maioria dos casos é um *software* perfeitamente fiável, no entanto para casos mais invulgares e complexos pode-se justificar a utilização de um programa mais apto e completo.

O funcionamento do *software* é bastante simples e intuitivo. A sua interface está organizada de uma forma sequencial, bastando ao utilizador seguir as etapas de projeto, conforme as mesmas são apresentadas no PAC-Pórticos.

As fases de introdução de dados são facilitadas recorrendo ao apoio de meios gráficos de visualização, permitindo a sua rápida e eficaz verificação, reduzindo-se a possibilidade de erros e, conseqüentemente, ganhando tempo de projeto e confiança nos resultados. Todos os dados são fornecidos mediante o preenchimento de menus adequados a cada caso, sendo, sempre que possível, imediatamente convertidos numa representação gráfica, seja na geometria, seções, ações, posicionamento de pórticos em planta, etc. [22]

Os cálculos assentam em algoritmos robustos, fiáveis e elaborados de acordo com a regulamentação Portuguesa (REBAP e RSAEEP) e com os Eurocódigos nos casos omissos na regulamentação nacional. [22]

Os resultados são exibidos por intermédio de saídas gráficas ou numéricas de fácil leitura e interpretação, tais como diagramas de esforços e deformadas. O programa permite também que o projetista possa efetuar alterações nos resultados obtidos tais como, o espaçamento entre estribos e dispensas de armadura longitudinal nas vigas, sugeridos pelo programa de cálculo automático, entre outros.

Para além do dimensionamento o PAC-Pórticos cria desenhos de pormenor dos elementos de betão armado, podendo ser obtidas plantas estruturais, desenhos de vigas em alçado e corte, sapatas e

quadro de pilares, com um elevado grau de pormenorização e detalhe. Todos esses desenhos são gravados num formato (.DXF) legível pela maioria dos programas de CAD, dando a possibilidade de tratar, modificar e imprimir cada um da forma mais conveniente.

2.2.2.2 – Funcionalidades

Como já foi referido anteriormente a interface do PAC-Pórticos tem uma apresentação bastante organizada e sequencial apesar de um pouco desatualizada quando comparada com os programas mais atuais. A interface é constituída por um conjunto sucessivo de menus, cujas opções permitem executar as várias operações inerentes ao projeto de estruturas.



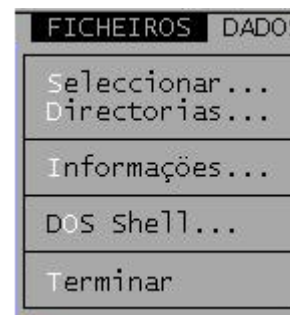
Figura 1 - Interface do PAC-Pórticos

Seguidamente são apresentados os menus de forma individual, caracterizando cada um destes com seguimento idêntico ao seguido no programa. A título demonstrativo, algumas das figuras apresentadas referentes ao PAC-Pórticos correspondem a obras existentes que foram dimensionadas recorrendo ao programa.

2.2.2.2.1 – Ficheiros

No menu designado FICHEIROS, é possível realizar diversos comandos, alguns dos quais relacionados com o manuseamento de ficheiros, desde:

- Selecionar ficheiros já criados para utilizar nos diversos menus subsequentes.
- DOS Shell, este sub-menu permite sair para a linha de comandos.



O primeiro menu tem também as funcionalidades gerais do *software*, tais como informações referentes ao programa, assim como a opção de terminar, que produz a interrupção do programa PAC-Pórticos.

2.2.2.2.2 – Dados

O menu seguinte designa-se DADOS, e é dividido pelos seguintes submenus:

- Malha 3D onde se inserem todos os dados de uma estrutura porticada em análise num ambiente tridimensional.



Os restantes três são de apresentação de resultados relativos às cargas presentes na estrutura:

- Ver W3D apresenta os resultados obtidos relativamente à força do vento, por piso.
- Ver E3D apresenta a quantificação das cargas gravíticas por piso, que serão consideradas na análise sísmica.
- Ver LAJ apresenta os dados relativos a cada laje existente na estrutura.

2.2.2.2.1 – Malha 3D

O submenu malha 3D, visível na figura 2, destina-se à criação/alteração de edifícios porticados de betão armado. Constitui uma das partes fundamentais no desenvolvimento do restante processo pois destina-se à preparação da maior parte dos dados necessários ao cálculo dos elementos estruturais que integram o edifício. Neste sub-menu é possível definir as plantas estruturais, caracterizar geometricamente num ambiente tridimensional todos os pilares e vigas, definir os pórticos em que se integram, incluir de forma automática as respetivas cargas verticais e definir, em duas direções ortogonais, a ação global do vento e as cargas gravíticas por piso a considerar na determinação dos efeitos das ações horizontais. Todas as suas funcionalidades são apresentadas em separado de seguida.

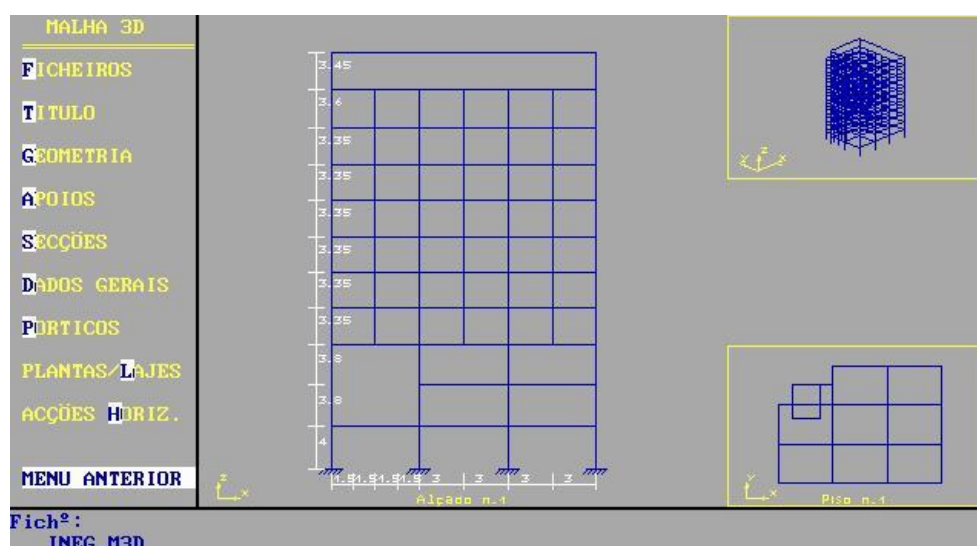


Figura 2 - Inserção de dados (Malha 3D)

Começa-se por definir a geometria da estrutura na opção homónima, inserem-se diversos dados, desde o número de barras em cada direção (x, y) e número de pisos, até à distância entre cada barra e altura entre pisos. Com base nesta malha inicial, é possível realizar modificações nas barras e nos nós de forma a obter a estrutura pretendida. Imediatamente a seguir à definição da malha tridimensional, são apresentados um alçado, uma planta e uma perspetiva 3D, estando para o efeito o ecrã dividido em três janelas (visível na figura 2), sendo uma delas ativa, a central, e as outras complementares.

Definida a geometria, são seleccionados os apoios nos nós correspondentes (na figura 2 são visíveis encastramentos na base dos pilares).

Posteriormente aparece a opção referente às secções. Nesta opção são solicitadas características de secção, desde: módulo de elasticidade, largura e altura, no caso das vigas, e largura de cada lado no caso dos pilares. Após estabelecidas as diversas secções presentes na estrutura, passa-se a atribuir a cada viga/pilar a secção correspondente.

A opção seguinte denominada dados gerais é exibida na figura 3.

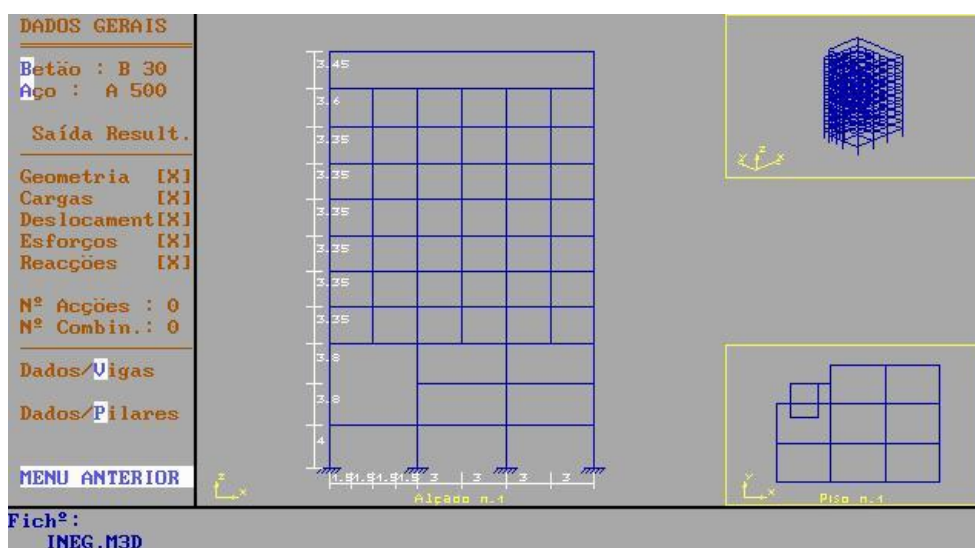


Figura 3 - Dados gerais (Malha 3D)

Como se verifica na figura 3 é na parcela de dados gerais que se indicam as classes de betão e aço da estrutura, conforme as designações dadas pelo REBAP. Dentro da parcela de dados gerais, inserem-se também os dados correspondentes às vigas e aos pilares. Em relação às primeiras os parâmetros que são introduzidos pelo projetista são relativos ao recobrimento pretendido, ao diâmetro mínimo de varões de aço admitidos e ao coeficiente de redistribuição de momentos nos nós centrais. Já para os pilares os dados a inserir são, o número de pilares com esforços na direção transversal e a previsível mobilidade dos pilares, que pode ser de nós fixos ou móveis.

A opção subsequente corresponde à definição dos pórticos da estrutura criada, tendo o propósito de, como o próprio nome indica, identificar os pórticos presentes na estrutura nas duas direções. Na figura 4 é exibido um exemplo já com as identificações referenciadas.

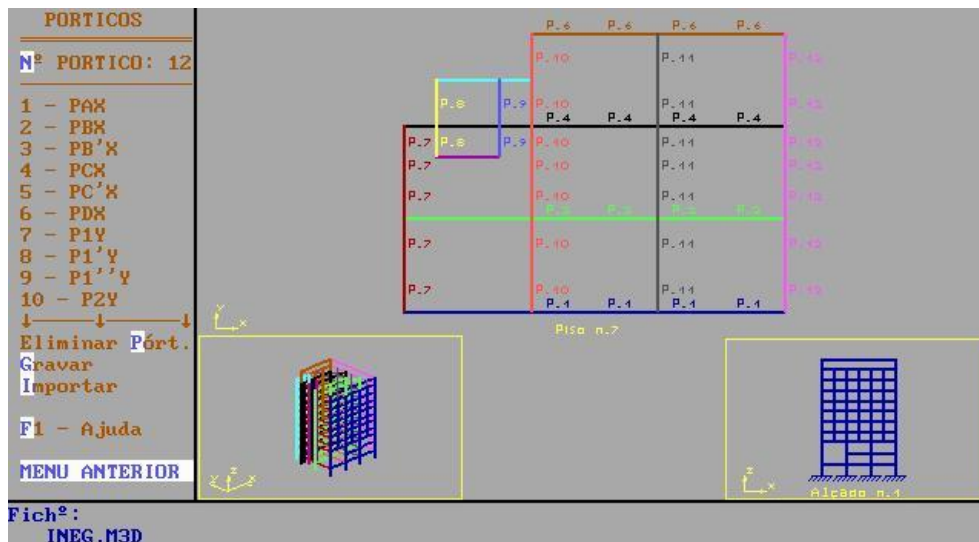


Figura 4 - Identificação de pórticos (Malha 3D)

A opção seguinte correspondente às plantas/lajes. Nesta opção caracterizam-se os diversos tipos de lajes identificadas por um nome, espessura e cargas. Posteriormente são colocadas as lajes criadas anteriormente, definindo-se a forma de apoio da laje de entre as seguintes possibilidades para cada direção:

- Com ou sem apoio nos dois bordos opostos
- Em consola

Na figura 5 é possível observar o exemplo correspondente ao piso 1 do edifício. O respetivo piso possui lajes quadradas e retangulares, apoiadas em uma e duas direções. Na mesma imagem são visíveis também as cargas permanentes e as sobrecargas, a espessura de cada laje assim como os vários pórticos criados anteriormente.

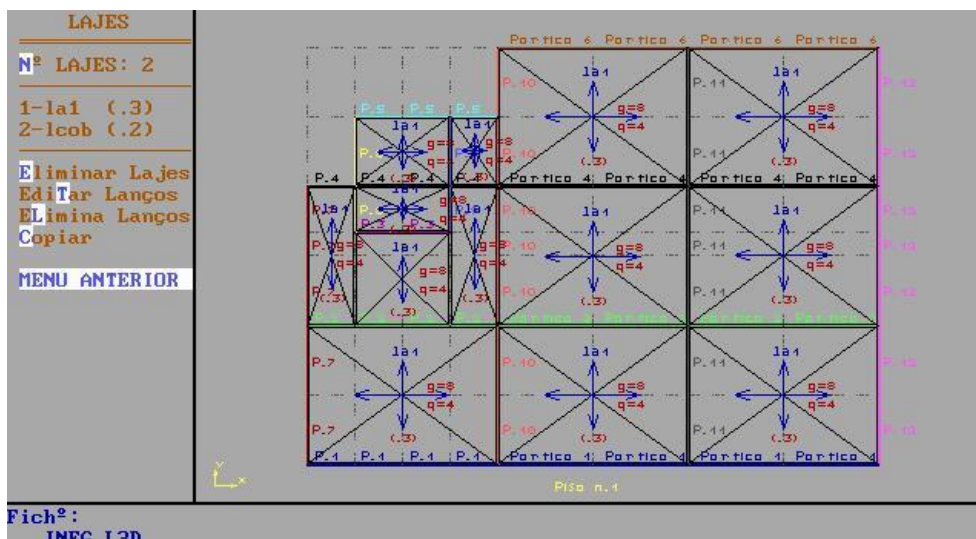


Figura 5 - Lajes (Malhas 3D)

Após determinar todas as lajes da estrutura é possível verificar as cargas que descarregam em cada pórtico assim como obter as plantas de cada piso no formato (.DXF). A título demonstrativo, apresenta-se na figura 6 a planta correspondente ao piso da figura 5 obtida diretamente do PAC-Pórticos.

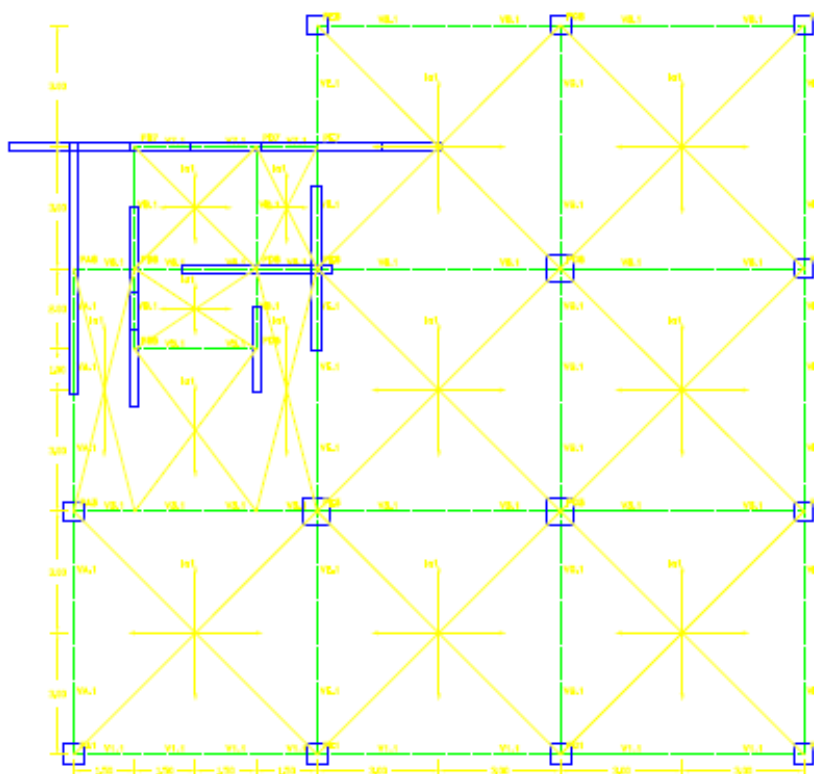


Figura 6 - Planta piso (Malha 3D)

A última opção do submenu malha 3D é referente às ações horizontais que podem atuar na estrutura, mais concretamente as forças do vento e forças sísmicas, sendo estas, após efetuados os cálculos de acordo com o RSAEEP de forma automática, representadas em cada piso, no programa de cálculo estrutural.

Para a ação do vento (figura 7) os parâmetros a inserir para a obtenção das forças são:

- Zonamento do território
- Rugosidade aerodinâmica do solo
- Altura das terras acima da fundação

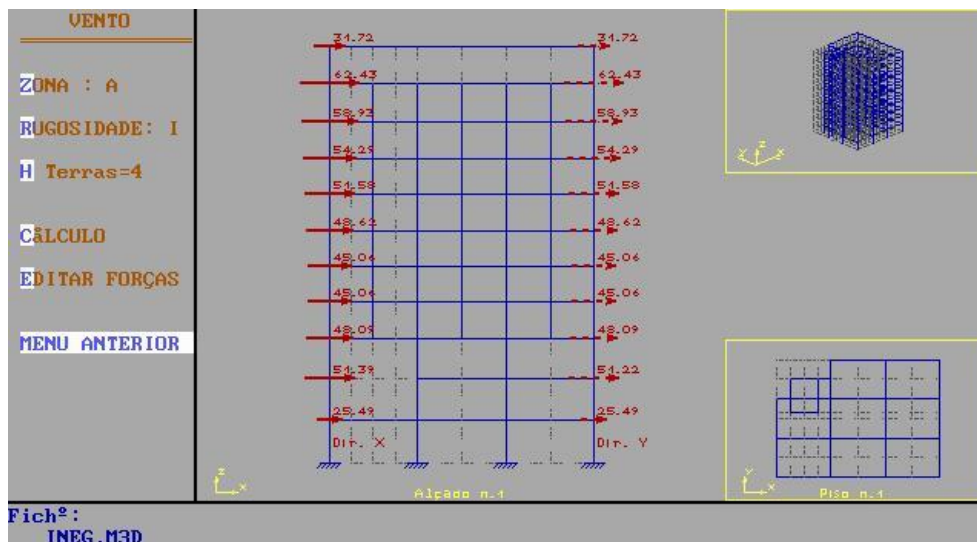


Figura 7 - Ação do vento (Malhas 3D)

Analisando a figura 7 é possível constatar que a ação do vento que está representada com um traço contínuo provoca pressões na estrutura, já as reproduzidas a tracejado tratam-se de sucções.

Para a ação do sismo, nesta opção apenas são calculadas as forças horizontais a atuar por piso, para isso, os parâmetros a inserir são apenas o peso em kN/m^2 de cada piso.

2.2.2.2.3 – Ações horizontais

O menu AÇÕES HORIZONTAIS tem a funcionalidade de preparar os dados e realizar os cálculos das ações horizontais no edifício. Este cálculo, que será efetuado para cada uma das direções em que o edifício se desenvolve, envolve a distribuição das ações horizontais devidas à ação do vento e do sismo por cada um dos elementos estruturais considerados.

Para o cálculo há dois modelos disponíveis, o modelo plano com um grau de liberdade por piso e o modelo com três graus de liberdade por piso. A figura 8 corresponde ao segundo modelo.



As ações podem ter propriedades estáticas (como é o caso do vento ou as que resultam dos métodos simplificados da análise estática para a determinação dos efeitos de ação dos sismos) ou dinâmicas para o caso da ação dos sismos, envolvendo neste caso a determinação dos modos de vibração da estrutura.

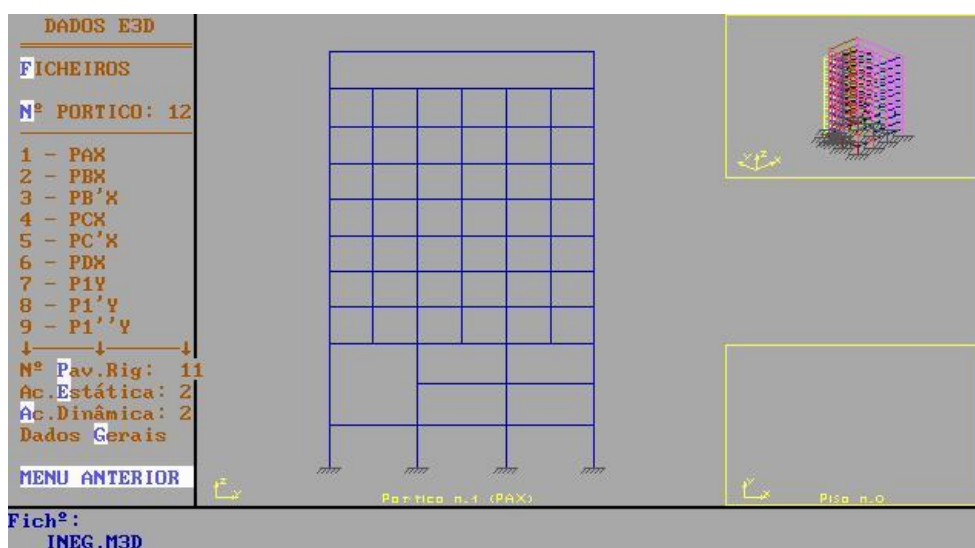


Figura 8 - Ações horizontais com três graus de liberdade

Para realizar a análise com o modelo de três graus de liberdade por piso, dentro deste submenu, é necessário definir vários parâmetros. O primeiro destes, como é visível na figura anterior, é o número de pavimentos rígidos que é definido na opção Nº Pav.Rígidos, entende-se por pavimento rígido a zona de um piso em que a laje, contínua e indeformável no seu plano, liga um conjunto de pórticos a essa cota.

A segunda e terceira opções, correspondem à caracterização das ações estáticas e dinâmicas.

Na opção correspondente às ações estáticas é onde se determina o número de ações desse tipo a considerar na estrutura, assim como a caracterização de cada uma delas, como a própria grandeza da força, as coordenadas do seu ponto de aplicação e a sua relação relativamente ao eixo x.

Na fração correspondente às ações dinâmicas determinam-se o número de ações desse tipo a considerar na estrutura. Selecionando uma das ações definidas pode modificar-se a ação sísmica que

se pretende considerar (do tipo 1 ou tipo 2, de acordo com a definição do RSAEEP) e as componentes do movimento sísmico a incluir simultaneamente (direção x, direção y e rotação). Ainda nas ações dinâmicas, o PAC-Pórticos possibilita ao projetista modificar as características de massa de cada pavimento. Pode alterar-se o valor total da sua massa, coordenadas em relação à origem do centro de massa e momento de inércia polar em relação à origem do sistema de eixos. Este momento de inércia polar é calculado automaticamente, podendo posteriormente ser modificado pelo utilizador. Por último dentro das ações dinâmicas há a parcela das opções gerais. Nesta secção são definidos a zona do território nacional e o tipo de terreno em que o edifício se encontra (de acordo com o previsto no RSAEEP), o coeficiente de amortecimento considerado, o coeficiente de comportamento da estrutura, a velocidade de propagação da ação sísmica e o número de modos de vibração considerados. Em situações onde há falta de informação, o PAC-Pórticos assume valores mais comuns para os últimos parâmetros.

2.2.2.2.4 – *Pórticos*

O menu designado PÓRTICOS é usado para trabalhar cada pórtico de forma individual, este menu é dividido nos seguintes submenus:

- EntDados tem o propósito de servir de entrada de dados.
- O segundo é denominado Cálculo e como o próprio nome indica é usado unicamente para proceder à realização dos cálculos.
- Os restantes três são para consulta de diferentes resultados, mais à frente serão apresentados exemplos de cada um destes.



2.2.2.2.4.1 – *Entrada de dados*

O submenu de entrada de dados apresentado na figura 9 é constituído por sete opções principais e destina-se à criação/alteração dos ficheiros de dados dos pórticos. Como em todo o programa também esta parte está preparada sequencialmente para que o projetista execute uma correta preparação dos pórticos percorrendo as diversas opções pela ordem em que surgem no menu.

No presente menu há também a possibilidade de dar sequência ao trabalho realizado no submenu da malha 3D, analisando qualquer um dos pórticos presentes na estrutura criada, ou analisar um pórtico criado de novo individualmente.

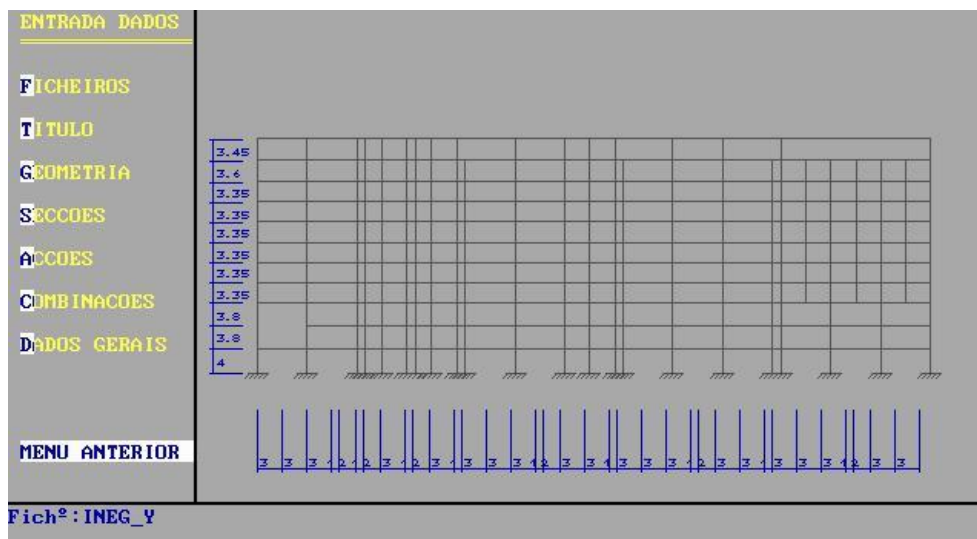


Figura 9 - Entrada de dados – Pórticos

As opções disponíveis no presente submenu são idênticas às disponíveis no submenu malha 3D, mas estas são apenas direcionadas para cada pórtico. Dentro destas opções há a referente à geometria que destina-se à definição e modificação das características geométricas da estrutura, no que se refere às barras, nós e apoios. Há também a opção designada secções que tem a função de caracterizar as secções das barras que constituem o pórtico.

Na opção denominada acções (figura 10), é possível introduzir/alterar ações que interesse considerar na estrutura, tendo em atenção ao facto de que há uma ordem própria a ser obedecida no uso do software. As primeiras ações (Acção G) são correspondentes às cargas permanentes, as segundas dizem respeito às sobrecargas, as terceiras e quartas são ação do vento e sísmica respetivamente.

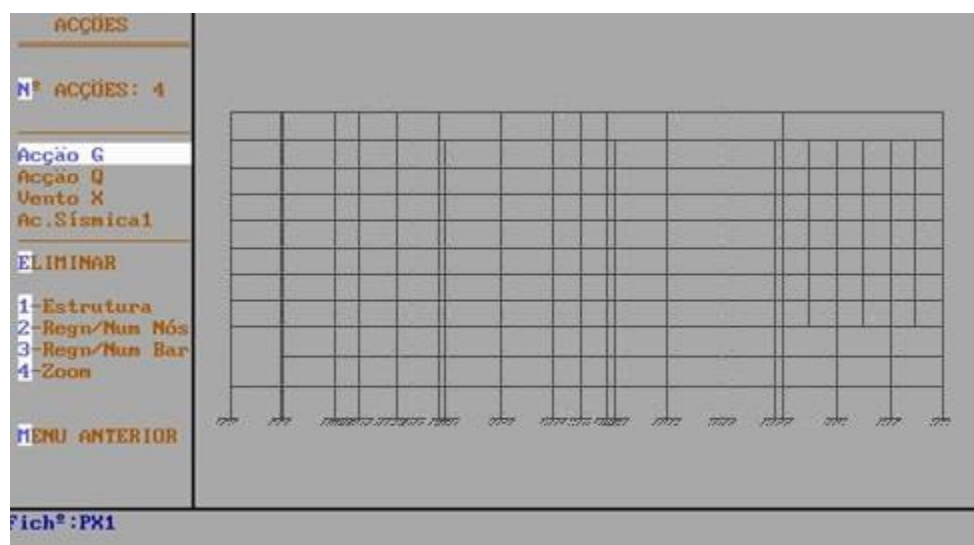


Figura 10 - Ações no pórtico

Posteriormente aparece a opção referente às combinações (figura 11). Nesta são definidas as combinações de ações pretendidas na análise e dimensionamento do pórtico. As combinações pré-definidas no PAC-Pórticos estão visíveis na figura 11 e são referentes às estabelecidas pelo REBAP e com coeficientes ψ correspondentes aos tipos de utilização definidos em 35.1.1 a), d) e e) do RSAEEP, ou seja, ($\psi_0 = 0.4$, $\psi_1 = 0.3$ e $\psi_2 = 0.2$). No entanto o programa permite ao projetista estabelecer quais os coeficientes de majoração que pretende utilizar de forma manual, caso os pré-definidos não sejam os pretendidos.

| COMBINAÇÕES | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| Nº COMBIN: 7 | | | | |
| | AC. 1 | AC. 2 | AC. 3 | AC. 4 |
| 1.5G+1.5Q | 1.5 | 1.5 | 0 | 0 |
| 1.5G+1.5Q+.6W | 1.5 | 1.5 | .6 | 0 |
| 1.5G+1.5Q-.6W | 1.5 | 1.5 | -.6 | 0 |
| 1.5G+.6Q+1.5W | 1.5 | .6 | 1.5 | 0 |
| 1.5G+.6Q-1.5W | 1.5 | .6 | -1.5 | 0 |
| 1.0G+.2Q+1.5E | 1 | .2 | 0 | 1.5 |
| 1.0G+.2Q-1.5E | 1 | .2 | 0 | -1.5 |

ELIMINAR
MENU ANTERIOR

Fichº:PX1

Figura 11 - Coeficientes de majoração das ações

Posteriormente aparece a opção referente às secções que permite configurar o módulo de elasticidade, largura e altura, no caso das vigas, e as dimensões de cada lado (bx e by) no caso dos pilares. Estabelecidas as diversas secções passa-se a atribuir uma delas a cada viga/pilar.

Por último há a opção intitulada dados gerais, que é em tudo idêntica à existente no submenu de malhas 3D, sendo reservada à definição de diversos dados gerais necessários em várias fase do cálculo e dimensionamento. Assim, pode-se alterar a classe do betão e do aço, definir o tipo de saída de resultados e caracterizar parâmetros necessários ao dimensionamento das vigas e pilares.

Como já foi mencionado anteriormente o segundo submenu é unicamente para autorizar o PAC-Pórticos a executar os cálculos, sendo os restantes três que constituem o menu (pórticos) usados para verificação de resultados.

2.2.2.2.4.2 – Deformadas e diagramas de esforços

O primeiro dos submenus referentes à verificação de resultados é denominado de Defor/Diag e permite consultar vários resultados relativos a cada pórtico, começando pela deformada alusiva a cada ação. Na figura 12 é visível a deformada relativa às cargas permanentes. A figura 13 corresponde à da ação sísmica, ambas correspondentes ao mesmo pórtico deste edifício demonstrativo. Associada a cada desenho é ainda visível uma escala dos deslocamentos e os seus valores máximos em cada uma das duas direções.

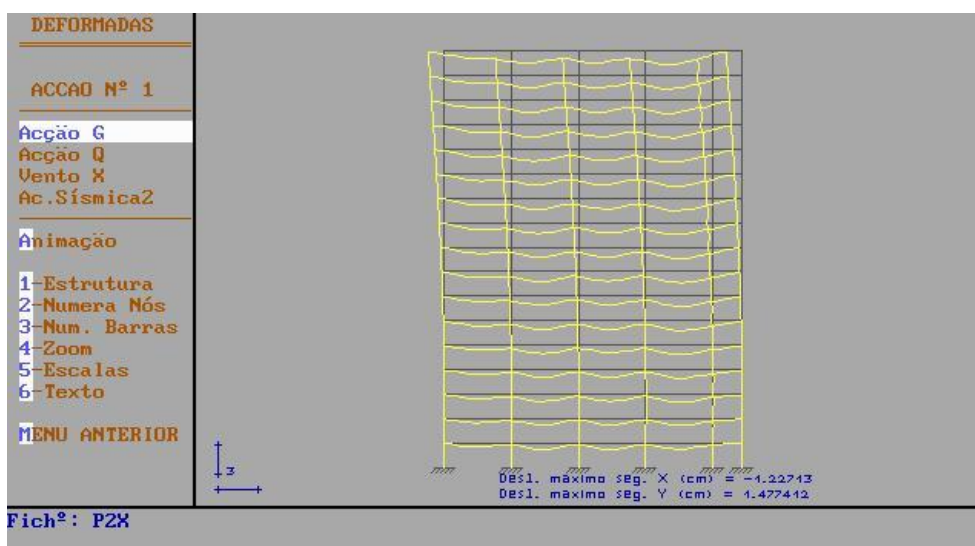


Figura 12 - Deformada associada às cargas permanentes

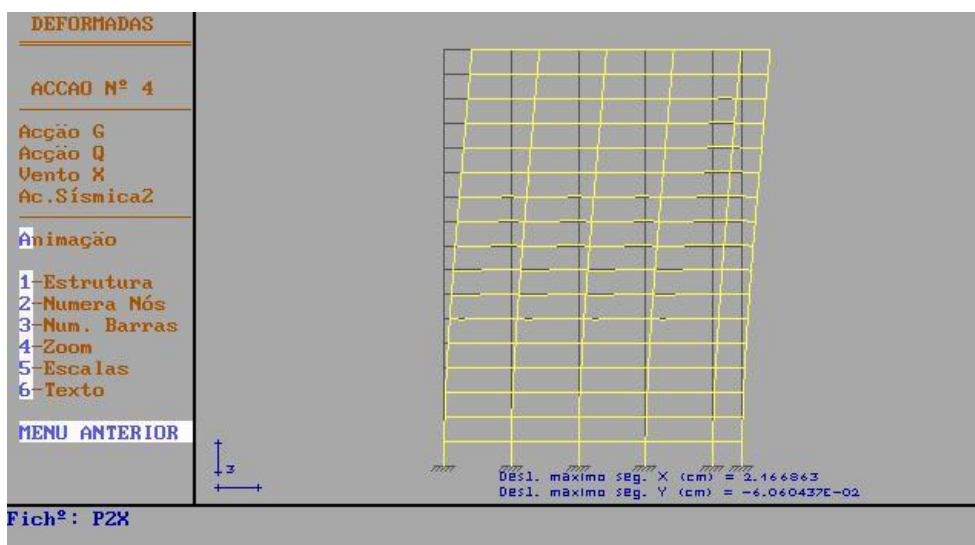


Figura 13 - Deformada associada à ação sísmica

Também é possível nesta secção do programa, consultar, os diagramas de momentos (figura 14 e 15) e esforços transversos (figura 16) tanto nas vigas como nos pilares. Os diagramas são gerados no PAC-Pórticos à escala mais conveniente de forma a facilitar a análise por parte do projetista.

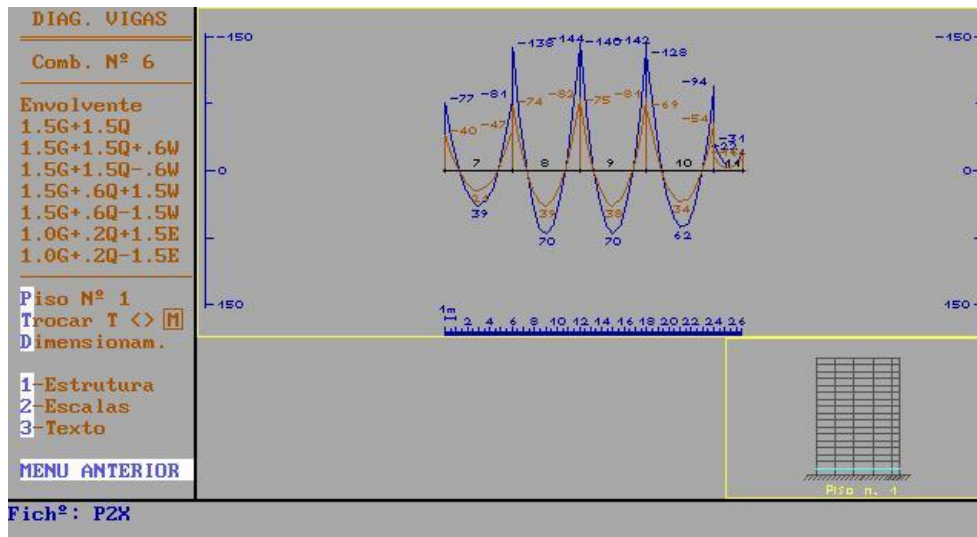


Figura 14 - Diagrama de momentos na viga (piso nº 1)

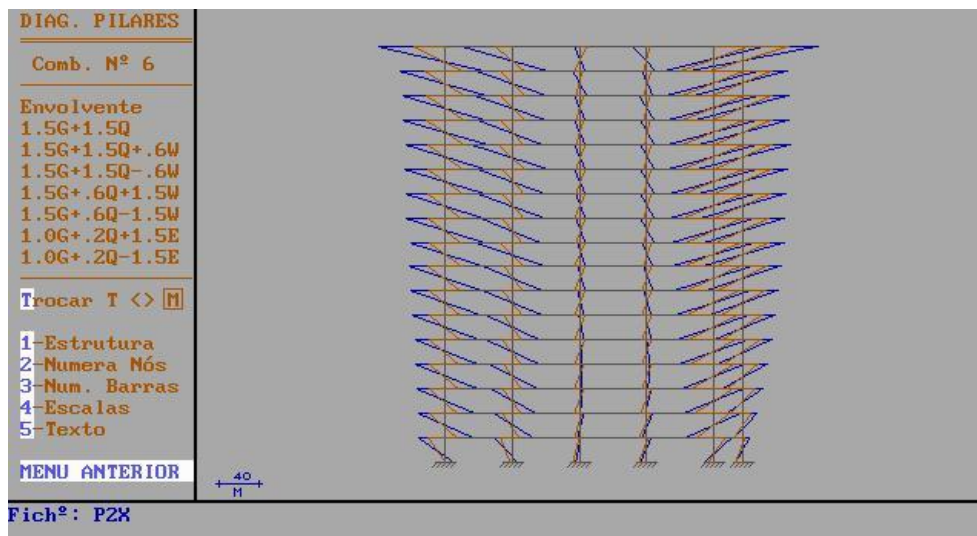


Figura 15 - Diagramas de momentos nos pilares

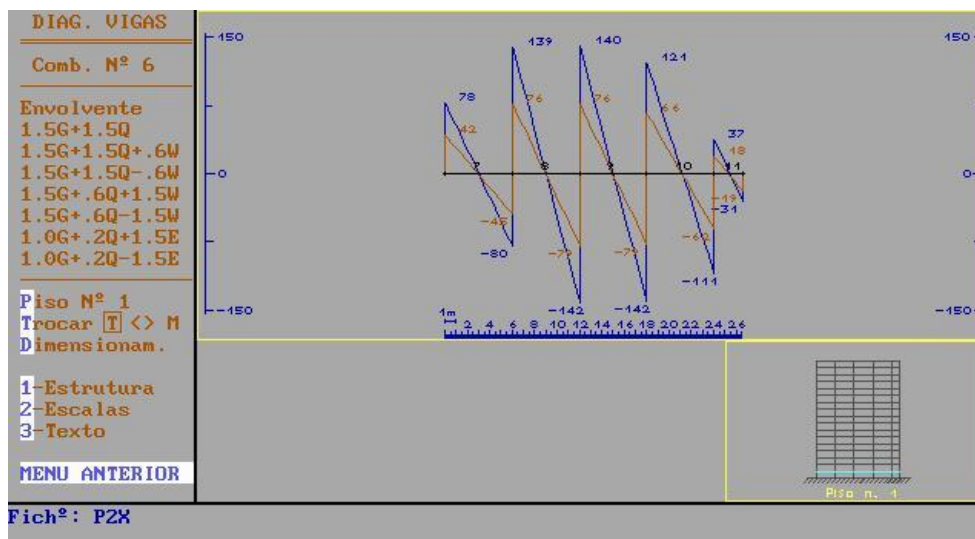


Figura 16 - Diagrama de esforço transverso na viga (piso nº 1)

Ao observar as figuras 14, 15 e 16 verifica-se que as mesmas têm dois traçados com cores que os diferencia, o traçado a azul corresponde à combinação na qual foi considerado um coeficiente de majoração de 1.5 tanto para as cargas permanentes como para as sobrecargas, já o traçado a laranja corresponde à combinação 6, com coeficientes de majoração de 1 para cargas permanentes, 0.2 para sobrecargas e 1.5 para a ação sísmica. Analisando as figuras observa-se que o programa permite a comparação gráfica e direta dos resultados das várias combinações de ações.

Por fim ainda dentro do submenu Deform/Diag também é possível visualizar as reações na base de cada pilar, correspondentes a uma ação pretendida.

2.2.2.2.4.3 – Resultados (Pórticos)

O segundo submenu reservado para apresentação de resultados permite criar e ver o ficheiro de resultados do cálculo do pórtico corrente, contendo a informação que foi selecionada no primeiro submenu EntDados. O ficheiro com uma extensão de ficheiro (.RES) pode ser usado para a análise de resultados mas também como elemento da memória descritiva de projeto. Neste apresentam-se todos os dados correspondentes ao pórtico em análise, incluindo as características das barras e nós que o constituem, os valores das ações que nele atuam e os valores dos deslocamentos e esforços obtidos. A título de exemplo apresenta-se na figura 18 parte de um ficheiro de resultados correspondente aos esforços finais obtidos num conjunto de barras (esforços axiais, transversais e momentos fletores). O PAC-Pórticos adota a convecção de sentidos positivos apresentada na figura 17.



Figura 17 - Convenção de sinais adotada como positiva no PAC-Pórticos

| ESFORÇOS FINAIS NAS BARRAS | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-------------------|---------|-------------|----------|
| BARRA | MOMENTO | | FORÇA TRANSVERSAL | | FORÇA AXIAL | |
| | Me (KN.m) | Md (KN.m) | Ve (KN) | Vd (KN) | Ne (KN) | Nd(KN) |
| 1 | 13.213 | 25.813 | 13.009 | -13.009 | 263.239 | -263.239 |
| 2 | -.912 | -2.034 | -.982 | .982 | 566.336 | -566.336 |
| 3 | .912 | 2.034 | .982 | -.982 | 566.336 | -566.336 |
| 4 | -13.213 | -25.813 | -13.009 | 13.009 | 263.239 | -263.239 |
| 5 | -59.914 | 81.652 | -87.827 | -96.523 | -8.537 | 8.537 |
| 6 | -77.798 | 77.798 | -92.175 | -92.175 | -8.845 | 8.845 |
| 7 | -81.652 | 59.914 | -96.523 | -87.827 | -8.537 | 8.537 |
| 8 | 34.101 | 30.535 | 21.545 | -21.545 | 175.411 | -175.411 |
| 9 | -1.819 | -.201 | -.674 | .674 | 377.639 | -377.639 |
| 10 | 1.819 | .201 | .674 | -.674 | 377.639 | -377.639 |
| 11 | -34.101 | -30.535 | -21.545 | 21.545 | 175.411 | -175.411 |
| 12 | -67.605 | 78.517 | -89.993 | -94.357 | -7.321 | 7.321 |
| 13 | -76.376 | 76.376 | -92.175 | -92.175 | -5.815 | 5.815 |
| 14 | -78.517 | 67.605 | -94.357 | -89.993 | -7.321 | 7.321 |
| 15 | 37.070 | 49.528 | 28.866 | -28.866 | 85.419 | -85.419 |
| 16 | -1.940 | -4.597 | -2.179 | 2.179 | 191.106 | -191.106 |
| 17 | 1.940 | 4.597 | 2.179 | -2.179 | 191.106 | -191.106 |
| 18 | -37.070 | -49.528 | -28.866 | 28.866 | 85.419 | -85.419 |
| 19 | -49.528 | 83.309 | -85.419 | -98.931 | 28.866 | -28.866 |
| 20 | -78.712 | 78.712 | -92.175 | -92.175 | 26.687 | -26.687 |
| 21 | -83.309 | 49.528 | -98.931 | -85.419 | 28.866 | -28.866 |

Figura 18 - Parcela do ficheiro correspondente a esforços máximos (.RES)

2.2.2.2.4.4 – Encurvadura/Plano

O terceiro submenu designado Encurv/Plano tem funções idênticas ao segundo, sendo no entanto direcionado para o dimensionamento de pilares. Efetuados os cálculos são criadas tabelas para cada pilar do pórtico contendo toda a informação relacionada com os esforços e dimensionamento do pilar. Na figura 19 é possível observar uma parte do ficheiro com uma extensão de ficheiro (.RPL) que contém todas estas tabelas, sendo apresentada a correspondente apenas à secção do pilar que está entre a fundação e o primeiro piso.

| PILAR P | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|--------------|----------|-----------|-------------|--------------------|-----------------------|------------|----------|------------|
| ELEMENTO (1) | b(m) | h(m) | l(m) | ó1 | ó2 | eta | l _o (m) | Lambda | | | |
| Fund. - Piso 1 | 0.40 | 0.40 | 3.00 | 1.00 | 2.28 | 0.86 | 2.59 | 22.4 | | | |
| COMBINACAO | NSD (KN) | MSD,e (KN*m) | MSD,d (KN*m) | ETA ---- | EXCT (cm) | NSD,CR (KN) | MSD,C (KN*m) | As (cm ²) | LOCAL ---- | VSD (KN) | AST/s (cm) |
| 1.5G+1.5Q | 448.4 | 22.5 | 44.0 | 0.00 | 0.00 | 448.4 | 44.0 | 0.00 | Ext.Dir | 22.16 | .0000 |
| 1.5G+1.5Q+.6W | 443.6 | 14.9 | 39.4 | 0.00 | 0.00 | 443.6 | 39.4 | 0.00 | Ext.Dir | 18.09 | .0000 |
| 1.5G+1.5Q-.6W | 453.2 | 30.1 | 48.5 | 0.00 | 0.00 | 453.2 | 48.5 | 0.00 | Ext.Dir | 26.23 | .0000 |
| 1.5G+.6Q+1.5W | 404.3 | 1.8 | 29.4 | 0.00 | 0.00 | 404.3 | 29.4 | 0.00 | Ext.Dir | 10.40 | .0000 |
| 1.5G+.6Q-1.5W | 428.2 | 40.0 | 52.3 | 0.00 | 0.00 | 428.2 | 52.3 | 0.00 | Ext.Dir | 30.75 | .0000 |
| 1.0G+.2Q+1.5E | 248.0 | -12.5 | 12.3 | 0.00 | 0.00 | 248.0 | 12.5 | 0.00 | Ext.Esq | 0.08 | .0000 |
| 1.0G+.2Q-1.5E | 292.8 | 39.6 | 40.8 | 0.00 | 0.00 | 292.8 | 40.8 | 0.00 | Ext.Dir | 26.80 | .0000 |
| As,calc= 0.00 cm ² : As,min= 9.60 cm ² : As,ef= Y (cm ²):Asw/s=.000(Y af. de m) | | | | | | | | | | | |

Figura 19 - Parcela do ficheiro correspondente ao dimensionamento do pilar (.RPL)

2.2.2.2.5 – Dimensionamento

O menu designado DIMENSIONAMENTO é utilizado para dimensionar separadamente cada elemento de betão armado, e está dividido nos seguintes submenus:

- Dimensionamento das vigas;
- Dimensionamento dos pilares;
- Dimensionamento das sapatas;
- Dimensionamento de pilares e sapatas de forma isolada;
- Dimensionamento de lajes fungiformes.



2.2.2.2.5.1 – Vigas

O submenu das vigas é composto por um conjunto de opções primárias distintas, estruturadas de forma sequencial, organizadas da seguinte forma:

- A primeira das opções denominada selecionar permite escolher a viga a dimensionar de um pórtico em estudo.
- A designada armadura/secção é o comando para se proceder ao cálculo da área de armadura resistente à flexão das vigas permitindo de seguida a visualização dos resultados.
- Dimensionamento/CAD tem como função o dimensionamento das vigas de betão armado e preparação dos respetivos desenhos.

- A opção denominada medição calcula e exibe os resultados referentes a áreas e volumes dos componentes necessários para as vigas de cada piso.
- A última é a Port-Dxf é o comando para criar os ficheiros (.DXF) com os desenhos de forma automática.

2.2.2.2.5.1.1 – Armadura/Secção

Na opção armadura/secção, como referido anteriormente, procede-se ao cálculo da área de armadura resistente à flexão das vigas e permite-se de seguida a visualização dos resultados num ficheiro com uma extensão (.ARM). O programa calcula de forma automática em cada tramo da viga a área da armadura nas secções extremas e na de maior momento positivo. Na figura 20 é possível visualizar um exemplo de ficheiro (.ARM).

Pórtico PX1

CALCULO DA ARMADURA DAS VIGAS DE SECCAO RECT. A FLEXAO SIMPLIS

Materiais : Aço A 400 e Betão B 25
d1 = .03 (m) d2 = .03 (m) B*H (cm2)
X= Distância da secção à extremidade esquerda da barra (m)
As1 = Armadura de tracção (cm2)
As2 = Armadura de compressão (cm2)

| BARRA | B * H | X | Msd (KN*m) | Mred | As1 e As2 |
|-------|-------|------|------------|-------|------------|
| 5 | 30 50 | 0,00 | -112,46 | 0,128 | 7,52 0,00 |
| 5 | 30 50 | 2,50 | 76,13 | 0,086 | 4,96 0,00 |
| 5 | 30 50 | 5,00 | -145,29 | 0,165 | 10,01 0,00 |
| 6 | 30 50 | 0,00 | -137,96 | 0,157 | 9,43 0,00 |
| 6 | 30 50 | 2,50 | 63,75 | 0,072 | 4,12 0,00 |
| 6 | 30 50 | 5,00 | -137,97 | 0,157 | 9,44 0,00 |
| 7 | 30 50 | 0,00 | -145,40 | 0,165 | 10,02 0,00 |
| 7 | 30 50 | 2,50 | 76,17 | 0,086 | 4,96 0,00 |
| 7 | 30 50 | 5,00 | -112,92 | 0,128 | 7,56 0,00 |
| 12 | 30 50 | 0,00 | -119,32 | 0,135 | 8,03 0,00 |
| 12 | 30 50 | 2,50 | 72,02 | 0,082 | 4,68 0,00 |
| 12 | 30 50 | 5,00 | -137,50 | 0,156 | 9,40 0,00 |
| 13 | 30 50 | 0,00 | -133,58 | 0,152 | 9,10 0,00 |
| 13 | 30 50 | 2,50 | 66,17 | 0,075 | 4,28 0,00 |
| 13 | 30 50 | 5,00 | -133,57 | 0,152 | 9,10 0,00 |
| 14 | 30 50 | 0,00 | -137,45 | 0,156 | 9,40 0,00 |
| 14 | 30 50 | 2,50 | 72,00 | 0,082 | 4,68 0,00 |
| 14 | 30 50 | 5,00 | -119,23 | 0,135 | 8,02 0,00 |
| 19 | 30 50 | 0,00 | -85,84 | 0,097 | 5,63 0,00 |
| 19 | 30 50 | 2,50 | 83,24 | 0,094 | 5,45 0,00 |
| 19 | 30 50 | 5,00 | -143,15 | 0,162 | 9,84 0,00 |
| 20 | 30 50 | 0,00 | -135,24 | 0,153 | 9,23 0,00 |
| 20 | 30 50 | 2,50 | 62,19 | 0,071 | 4,02 0,00 |
| 20 | 30 50 | 5,00 | -135,24 | 0,153 | 9,23 0,00 |
| 21 | 30 50 | 0,00 | -143,10 | 0,162 | 9,83 0,00 |
| 21 | 30 50 | 2,50 | 83,22 | 0,094 | 5,45 0,00 |
| 21 | 30 50 | 5,00 | -85,74 | 0,097 | 5,62 0,00 |

Figura 20 - Resultados da opção "Armadura/secção" das vigas (.ARM)

2.2.2.2.5.1.2 – Dimensionamento/CAD

A opção Dimensionamento/CAD tem como objetivo o dimensionamento das secções das vigas, à flexão e ao esforço transverso, assim como a preparação dos elementos principais necessários ao desenho das vigas, nomeadamente definindo o tipo de varões a adotar e de que forma estes são distribuídos. Como resultado do cálculo é criado um ficheiro com uma extensão de ficheiro (.VCD) organizado com as armaduras longitudinais e transversais, assim como as dispensas ao longo da viga. Na figura 21 é visível um exemplo desse ficheiro correspondente a uma viga do pórtico em estudo, contendo três tramos.

Toda a informação contida no ficheiro pode ser modificada com um editor de texto, tornando possível modificar armaduras ou controlar as eventuais dispensas sugeridas pelo *software* antes do mesmo criar os ficheiros relativos aos desenhos.

Pórtico PX1

| BARRA | TIPO | A1 | A2 | A vao | A3 | A4 |
|--------------|------|--------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| ARM. | | d1 | d2 | ----- | d3 | d4 |
| PISO = 1 [] | | | | | | |
| 5 | AS | 4Y16+ 0Y 0 1.65 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 2Y16+ 0Y 0 ----- | 3Y16+ 0Y 0 1.85 | 5Y16+ 0Y 0 1.65 |
| | AI | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 2Y12+ 2Y16 ----- | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 |
| | EST. | Y 6 // .150 .00 (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 6 // .150 ----- (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 8 // .200 1.20 (2) |
| 6 | AS | 5Y16+ 0Y 0 1.60 | 3Y16+ 0Y 0 1.80 | 2Y16+ 0Y 0 ----- | 3Y16+ 0Y 0 1.80 | 5Y16+ 0Y 0 1.60 |
| | AI | 3Y12+ 0Y 0 .65 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 5Y12+ 0Y 0 ----- | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 3Y12+ 0Y 0 .65 |
| | EST. | Y 6 // .125 1.05 (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 6 // .150 ----- (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 6 // .125 1.05 (2) |
| 7 | AS | 5Y16+ 0Y 0 1.65 | 3Y16+ 0Y 0 1.85 | 2Y16+ 0Y 0 ----- | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 4Y16+ 0Y 0 1.65 |
| | AI | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 2Y12+ 2Y16 ----- | 0Y 0+ 0Y 0 .00 | 0Y 0+ 0Y 0 .00 |
| | EST. | Y 8 // .200 1.20 (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 6 // .150 ----- (2) | Y 0 //0.000 00.00 | Y 6 // .150 .00 (2) |

Figura 21 - Resultados da opção "Dimensionamento/CAD" das vigas (.VCD)

2.2.2.2.5.1.3 – Medição

A opção seguinte é medição e tem como função calcular a área de cofragem, volume de betão e peso do aço correspondente às vigas do pórtico. Estes resultados são guardados num ficheiro com a extensão (.MED). Este ficheiro contém as informações organizadas por piso. Na figura 22 exhibe-se um exemplo de ficheiro (.MED) correspondente às vigas de um pórtico completo.

Pórtico PX1

QUADRO DE MEDICAO DE BETAO E ACO EM VIGAS

| Piso | Betao (m3) | Cofr. (m2) | V a r o e s L o n g i t u d . | | | | | | E s t r i b o s | | | Kg/m3 |
|-------------------------------------|------------|------------|-------------------------------|------|-------|-----|-----|-----|-------------------|-----|-----|-------|
| | | | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 | 32 | 6 | 8 | 10 | |
| 1 | 2.2 | 19.5 | 0.0 | 36.8 | 124.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.5 | 7.2 | 0.0 | 88.1 |
| 2 | 2.2 | 19.5 | 0.0 | 36.9 | 123.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.9 | 0.0 | 0.0 | 87.4 |
| 3 | 2.2 | 19.5 | 0.0 | 36.6 | 125.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 29.5 | 7.2 | 0.0 | 88.2 |
| Total | 7. | 58. | 0. | 110. | 374. | 0. | 0. | 0. | 95. | 14. | 0. | 88. |
| Total de Varoes Longitudinais= 484. | | | | | | | | | Total Estr.= 109. | | | |

Figura 22 - Resultados da opção "Medição " das vigas (.MED)

2.2.2.2.5.1.3 – Criar ficheiro .DXF (Vigas)

A última opção designa-se Port-DXF e permite a criação do ficheiro no formato (.DXF) com o desenho das vigas do pórtico selecionado. Na ilustração seguinte (figura 23), é apresentado uma parte de um desenho de forma a servir de exemplo demonstrativo retirado diretamente do PAC-Pórticos sem qualquer tratamento posterior.

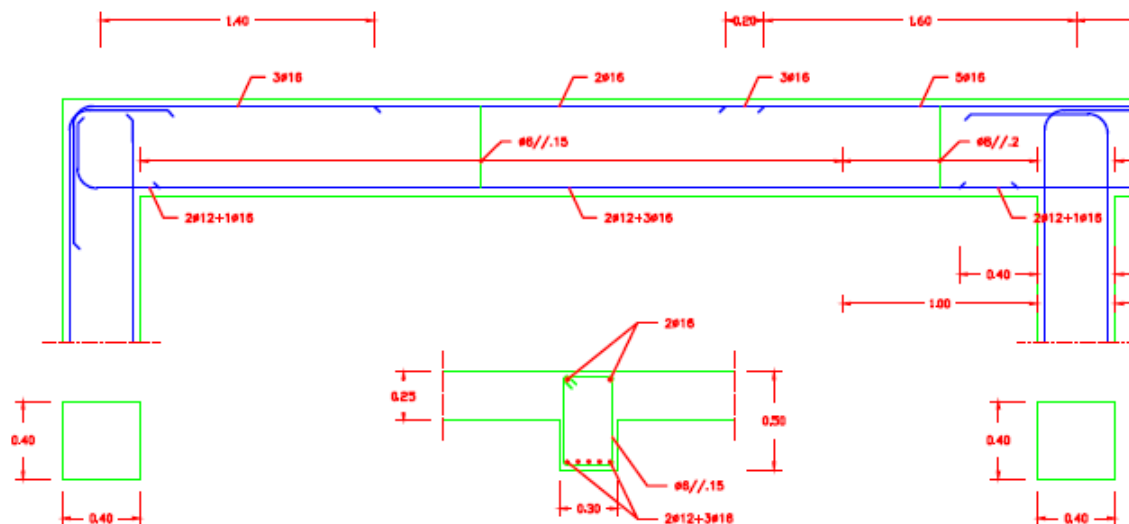


Figura 23 - Desenhos de uma viga retirado do PAC-Pórticos

2.2.2.2.5.2 – Pilares

O submenu correspondente aos pilares tem uma organização similar ao correspondente às vigas, e é constituído pelas seguintes opções primárias distintas:

- A Mobilidade que permite o cálculo da encurvadura dos pilares.
- Dimensionamento permite efetuar o dimensionamento do pilar e a preparação dos seus desenhos.
- Medição permite calcular os resultados referentes a áreas e volumes dos componentes necessários para os pilares do pórtico.
- Rpg-Dxf é o comando para criar os ficheiros (.DXF) para visualização dos resultados de calculo dos pilares.

2.2.2.2.5.2.1 – Mobilidade

A primeira opção aborda a encurvadura em pilares, caracterizando-os como pertencentes a estruturas de nós móveis ou nós fixos com recurso a dois métodos distintos (figura 24). O primeiro é um método desenvolvido pelo engenheiro Jorge Moreno Delgado na elaboração da sua tese de doutoramento intitulada “Avaliação da segurança de estruturas reticuladas com comportamento não linear material

e geométrico”, que recorrendo a ensaios experimentais chegou à conclusão que no cálculo da rigidez de um pórtico, deve ser tida em conta para além da rigidez dos pilares, uma parte da rigidez das vigas, tornando-se assim um método menos exigente mas fiável. O segundo método é o proposto pelo REBAP. Para além disso, ainda são definidos os pórticos que atuam em cada direção, criando um sistema de pórticos em comboio para análises a ações horizontais da estrutura.

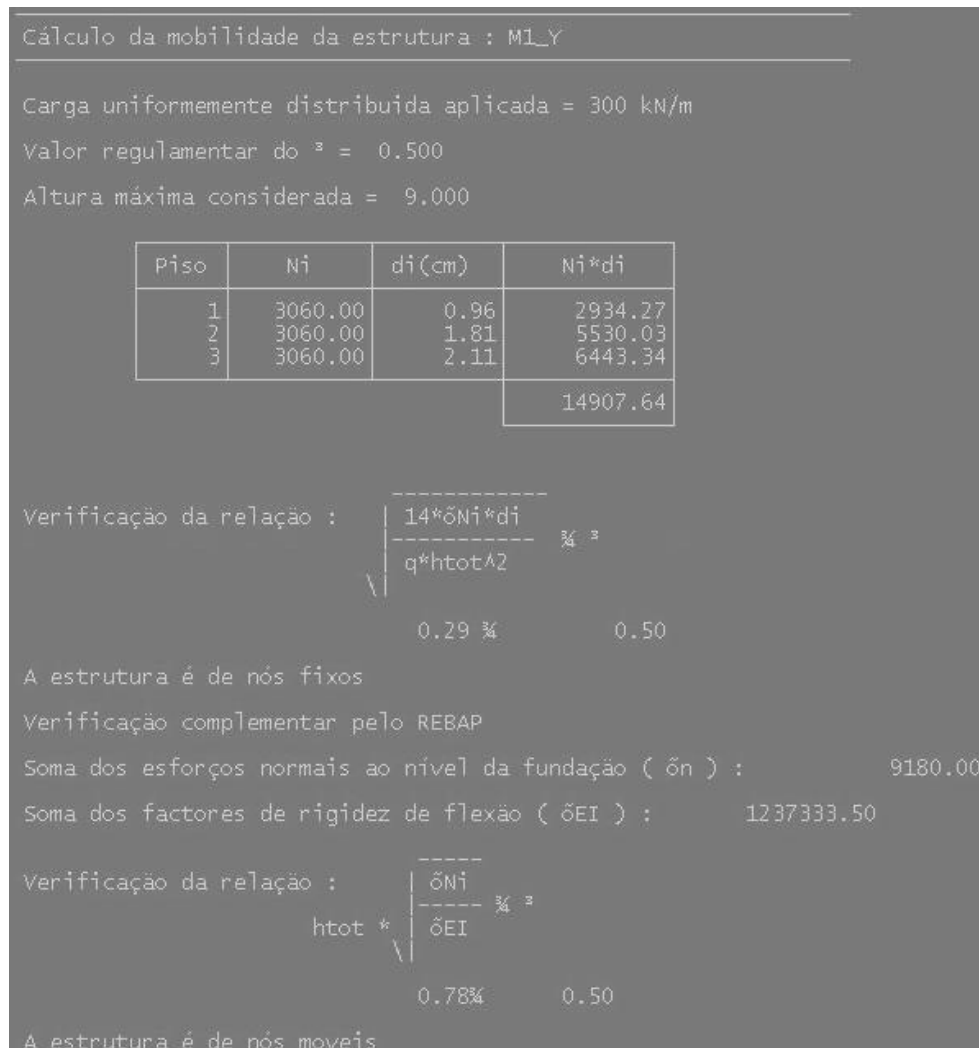


Figura 24 - Mobilidade dos pilares (2 métodos)

2.2.2.2.5.2.2 – Dimensionamento/CAD

A segunda opção do presente submenu corresponde ao Dimensionamento/CAD e tem como objetivo o dimensionamento das secções dos pilares à flexão e ao esforço axial, assim como a preparação dos

elementos principais necessários ao desenho dos pilares, nomeadamente definindo os varões a adotar para as diversas combinações de ações consideradas.

Como resultado do cálculo é criado um ficheiro com uma extensão de ficheiro (.RPG) organizado com os diversos esforços presentes em cada elemento e as armaduras calculadas, tanto as dispostas verticalmente ao longo do pilar como as cintas. As armaduras obtidas poderão ser modificadas pelo utilizador de modo a que o desenho posteriormente criado já inclua as alterações.

| PILARES - ANÁLISE DA ENCURVADURA | | B25 | A400 | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|------------|--------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|----------|------------|--|
| PORTICOS | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIRECCAO x (Nos Moveis) | | | | | | | | DIRECCAO y (Nos Moveis) | | | | | | | |
| DESIGNACAO | PONTOS DA MALHA | | | | DESIGNACAO | PONTOS DA MALHA | | | | | | | | | |
| P1 | 1 | 2 | 3 | 5 | PA | 1 | 6 | | | | | | | | |
| P2 | 6 | 7 | 8 | 10 | PB | 2 | 7 | | | | | | | | |
| | | | | | PC | 3 | 8 | | | | | | | | |
| | | | | | PD | 5 | 10 | | | | | | | | |
| COMBINAÇÕES | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | DIRECCAO X | | | | DIRECCAO Y | | | | | | | | | |
| | | Ac. 1 | Ac. 2 | Ac. 3 | Ac. 4 | Ac. 1 | Ac. 2 | Ac. 3 | Ac. 4 | | | | | | |
| Comb. nº 1 | | 1.5 | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 2 | | 1.5 | 1.5 | -0.6 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 3 | | 1.5 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | 0.6 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 4 | | 1.5 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 1.5 | -0.6 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 5 | | 1.5 | 0.6 | 1.5 | 0.0 | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 6 | | 1.5 | 0.6 | -1.5 | 0.0 | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 7 | | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.6 | -1.5 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 8 | | 1.5 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 0.6 | -1.5 | 0.0 | | | | | | |
| Comb. nº 9 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 1.5 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | | | | | | |
| Comb. nº 10 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 1.5 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -0.4 | | | | | | |
| Comb. nº 11 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -1.5 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | | | | | | |
| Comb. nº 12 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -1.5 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -0.4 | | | | | | |
| Comb. nº 13 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 1.5 | | | | | | |
| Comb. nº 14 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -0.4 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 1.5 | | | | | | |
| Comb. nº 15 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.4 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -1.5 | | | | | | |
| Comb. nº 16 | | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -0.4 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | -1.5 | | | | | | |
| PILAR P | b(m) | h(m) | l(m) | Ø1x | Ø2x | etax | lox(m) | Lambdax | Ø1y | Ø2y | etay | loy(m) | Lambday | LOCAL | |
| PT. da MALHA= 1 | NSD (kN) | MSDx,e (kN²m) | MSDx,d (kN²m) | MSDy,e (kN²m) | MSDy,d (kN²m) | ETAX ---- | EXCTx (cm) | ETAY ---- | EXCTy (cm) | NSD,cr (kN) | MSDx,c (kN²m) | MSDy,c (kN²m) | As (cm²) | LOCAL ---- | |
| Fund. - Piso 1 | 0.35 | 0.25 | 3.00 | 1.00 | 0.70 | 1.25 | 3.76 | 52.2 | 1.00 | 0.93 | 1.29 | 3.87 | 38.3 | | |
| Combinacao 16 | 335. | 20.7 | 23.3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 335. | 36.9 | 105.1 | 23.17 | Ext.Esq | |
| Combinacao 12 | 325. | 53.5 | 50.2 | 35.8 | 42.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 325. | 65.9 | 55.8 | 21.50 | Ext.Dir | |
| Combinacao 15 | 307. | -7.3 | 0.3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 307. | 22.1 | 103.9 | 18.56 | Ext.Esq | |
| Combinacao 14 | 212. | 20.7 | 23.3 | -67.2 | -37.6 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 212. | 31.0 | 75.9 | 15.97 | Ext.Esq | |
| As,calc= 23.17 cm2 (2.65%) : As,min= 5.25 cm2: As,ef= 4Y25+ 2Y20(face sup.= 2+ 1): Cintas = (Y 8af. de0.24m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Piso 1 -Piso 2 | 0.35 | 0.25 | 3.00 | 0.70 | 0.70 | 1.21 | 3.63 | 50.3 | 0.93 | 0.93 | 1.28 | 3.83 | 37.9 | | |
| Combinacao 16 | 200. | 28.2 | 28.8 | 84.0 | 87.2 | 1.00 | 4.64 | 1.00 | 4.10 | 200. | 38.1 | 95.4 | 22.37 | Ext.Dir | |

Figura 25 - Resultados da parcela "Dimensionamento/CAD" dos pilares (.RPG)

2.2.2.2.5.2.3 – Medição

A opção denominada Medição tem como função calcular as áreas de cofragem, volumes de betão, peso do aço, armadura longitudinal e das cintas correspondentes aos pilares do pórtico. Como resultado obtém-se um ficheiro idêntico ao produzido no tratamento das vigas, mas contendo informações respeitantes aos pilares.

2.2.2.2.5.2.4 – Criar ficheiro .DXF (Pilares)

A última opção disponível é Port-DXF e destina-se à criação do ficheiro no formato (.DXF) que contém o desenho dos pilares da estrutura. Na ilustração seguinte (figura 26), apresenta-se uma parte de um desenho de forma a servir de exemplo demonstrativo retirado diretamente do PAC-Pórticos.

Antes de proceder à realização automática dos desenhos, é conveniente ter em conta que o programa calcula cada pilar tramo a tramo consoante os esforços nele presentes. Cabe ao projetista ter a sensibilidade para assumir a distribuição de armaduras mais conveniente. Ao observar a figura 26 é visível que para o pilar P1, a armadura obtida recorrendo ao cálculo automático é mais elevada no topo do pilar. Essa situação decorre do facto da combinação de momentos fletores-esforço axial ser mais gravosa nesse tramo. Trata-se portanto de um caso em que o projetista deve alterar os resultados obtidos e optar pela distribuição que entender ser a mais conveniente.

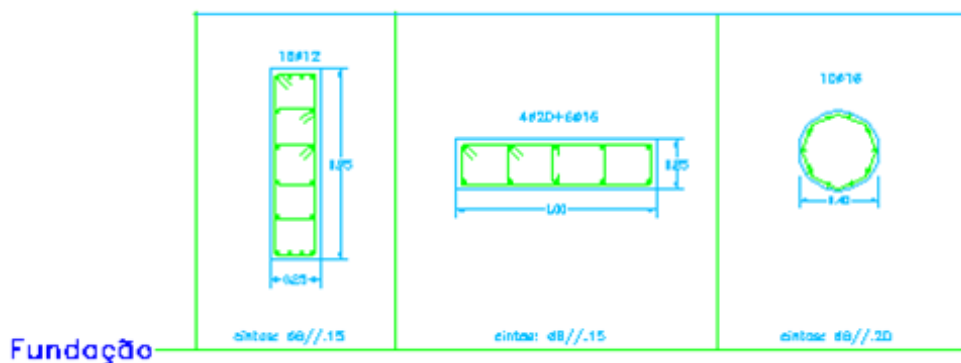


Figura 26 - Desenhos dos pilares retirados do PAC-Pórticos

2.2.2.2.5.3 – Sapatas

O submenu correspondente às sapatas está estruturado de forma idêntica aos anteriores e é constituído pelas seguintes opções primárias:

- Dimensionamento possibilita o dimensionamento das sapatas isoladas da estrutura;
- A opção seguinte é designada Agrupam.sapatas e possibilita ao projetista unir diversas sapatas presentes na estrutura;
- Dimensionamento/CAD permite efetuar o dimensionamento das sapatas e a preparação dos seus desenhos;

- Medição efetua o cálculo das medições referentes a volumes e pesos dos componentes necessários para as sapatas;
- A Sap-Dxfm é o comando para criar os ficheiros (.DXF) para visualização dos resultados de cálculo das sapatas;
- Por fim a sexta opção cria uma planta de fundações, também esta em formato (.DXF).

2.2.2.2.5.3.1 – Dimensionamento/CAD

Esta opção corresponde ao dimensionamento das sapatas isoladas de um edifício, a partir dos ficheiros representativos de uma malha de pilares previamente calculados. Também é possível editar ficheiros de sapatas já calculadas e proceder a alterações nessas sapatas.

A opção dimensionamento é constituída por várias opções secundárias, dentro destas há uma designada dados gerais (figura 27) onde são inseridos vários parâmetros, tais como a classe do betão e do aço que constitui a sapata, a tensão de cálculo do terreno, a esbelteza da sapata (sendo que 1 corresponde a uma sapata muito rígida e 6 a uma sapata flexível), o tipo de sapata pretendido, o número total de combinações utilizadas que servirão para pré-dimensionar as sapatas e uma percentagem designada diferença. Esta percentagem tem a função de estipular uma diferença percentual utilizada para admitir várias sapatas idênticas em termos de dimensões num determinado grupo.

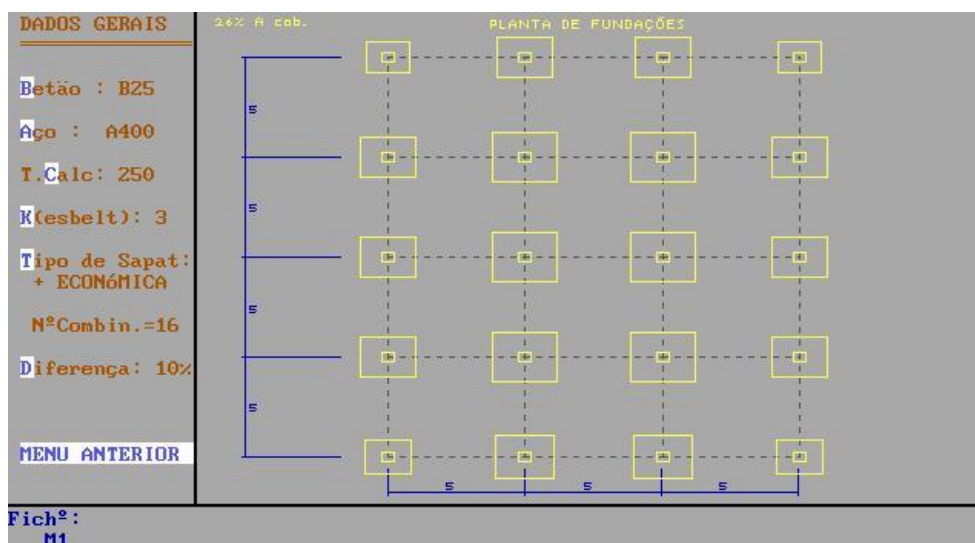


Figura 27 – Planta de fundações

Dimensionamento possibilita ao projetista editar sapatas (figura 28), após realizado o cálculo com os dados inseridos na opção anterior. Esta opção permite visualizar uma planta e um corte esquemático da sapata em causa, assim como, alterar as suas dimensões e armaduras.

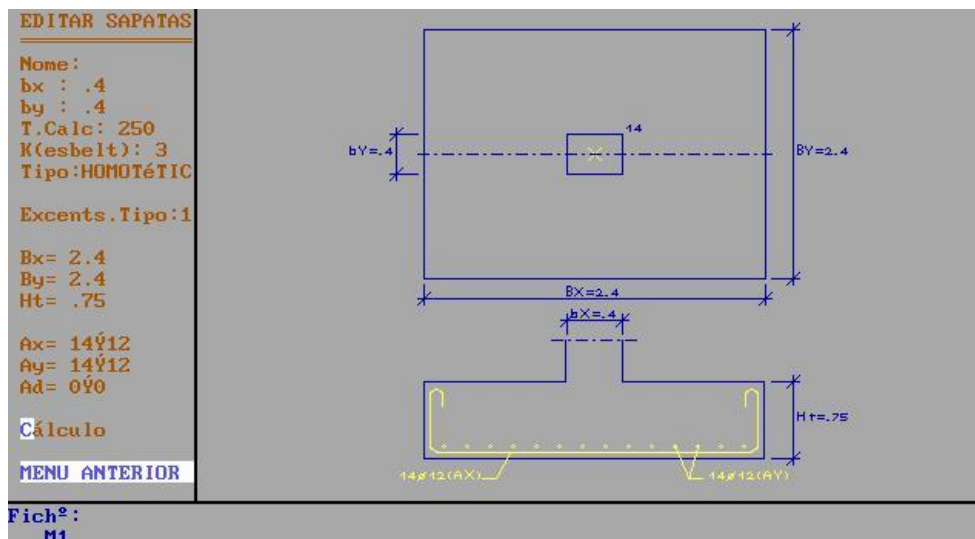


Figura 28 – Parcela de edição da sapata

2.2.2.2.5.3.2 – Agrupamento de sapatas

A opção Agrupam.Sapatas possibilita ao projetista agrupar diversas sapatas isoladas na estrutura, podendo originar sapatas comuns a vários pilares. Todas as alterações pretendidas ficam visíveis na área de introdução de dados do *software*, no ficheiro correspondente aos resultados, assim como nos desenhos.

2.2.2.2.5.3.3 – Ver ficheiro

Como resultado do cálculo, de forma similar aos outros submenus correspondentes a cada elemento estrutural, é criado um ficheiro com uma extensão (.RSG). O ficheiro é constituído por uma tabela onde são visíveis os diversos esforços presentes em cada sapata para as diversas combinações de ações consideradas. O mesmo ficheiro apresenta ainda uma outra tabela com os resultados relativos ao dimensionamento da sapata assim como as armaduras.

| DIMENSIONAMENTO DE SAPATAS | | B25 | A400 | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|
| SAPATA | | | | | | |
| Dimensões do Pilar bx= 0.40 m by= 0.40 m | | Coeficiente de esbeltez k=3.0 | | | | |
| Pt. Malha:1 | | | | | | |
| COMBINAÇÃO | N. (kN) | Mx (kN.m) | My (kN.m) | Tens. Calc. (kPa) | | |
| Combinação 1 | 550.6 | 14.9 | 5.4 | 250.0 | | |
| Combinação 2 | 560.2 | 30.1 | 5.4 | 250.0 | | |
| Combinação 3 | 551.9 | 22.5 | -0.1 | 250.0 | | |
| Combinação 4 | 558.9 | 22.5 | 11.0 | 250.0 | | |
| Combinação 5 | 511.3 | 1.8 | 5.4 | 250.0 | | |
| Combinação 6 | 535.2 | 40.0 | 5.4 | 250.0 | | |
| Combinação 7 | 514.6 | 20.9 | -8.5 | 250.0 | | |
| Combinação 8 | 531.9 | 20.9 | 19.3 | 250.0 | | |
| Combinação 9 | 312.8 | -12.5 | -4.0 | 250.0 | | |
| Combinação 10 | 325.8 | -12.5 | 11.3 | 250.0 | | |
| Combinação 11 | 357.6 | 39.6 | -4.0 | 250.0 | | |
| Combinação 12 | 370.6 | 39.6 | 11.3 | 250.0 | | |
| Combinação 13 | 313.4 | 5.8 | -21.9 | 250.0 | | |
| Combinação 14 | 326.8 | 21.4 | -21.9 | 250.0 | | |
| Combinação 15 | 356.6 | 5.8 | 29.2 | 250.0 | | |
| Combinação 16 | 370.0 | 21.4 | 29.2 | 250.0 | | |
| Sapata Homotética (+ Económica) Excentricidades em relação ao G da sapata | | | | | | |
| Bx (m) | By (m) | Ht (m) | Armadura (cm ²) | | Tensão de Referência (kPa) | Tensão Tangencial (kPa) |
| 1.65 | 1.65 | 0.50 | Ax | Ay | | |
| | | | 6.4 | 6.4 | 235.0 | 273.2 |
| Armadura adoptada: | | | 8Y10 | 8Y10 | Arm. Sup.: Ad=# 0Y 0 | |
| Nota : A altura foi condicionada pelo Punçoamento | | | | | | |

Figura 29 - Resultados da parcela "Dimensionamento/CAD" das sapatas (.RSG)

2.2.2.2.5.3.4 – Medição

A opção designada Medição tem uma função similar às designadas pelo mesmo nome nos restantes elementos apresentados anteriormente. A opção medição apresenta o volume de betão e peso do aço correspondente a todas as sapatas existentes na estrutura em estudo.

2.2.2.2.5.3.5 – Criar ficheiro .DXF (Sapatas)

A última opção disponível é denominada Sap-DXF e esta destina-se à criação do ficheiro no formato (.DXF) para o desenho das sapatas da estrutura. Na ilustração seguinte (figura 30) é apresentado um desenho correspondente a uma sapata retirado diretamente do PAC-Pórticos.

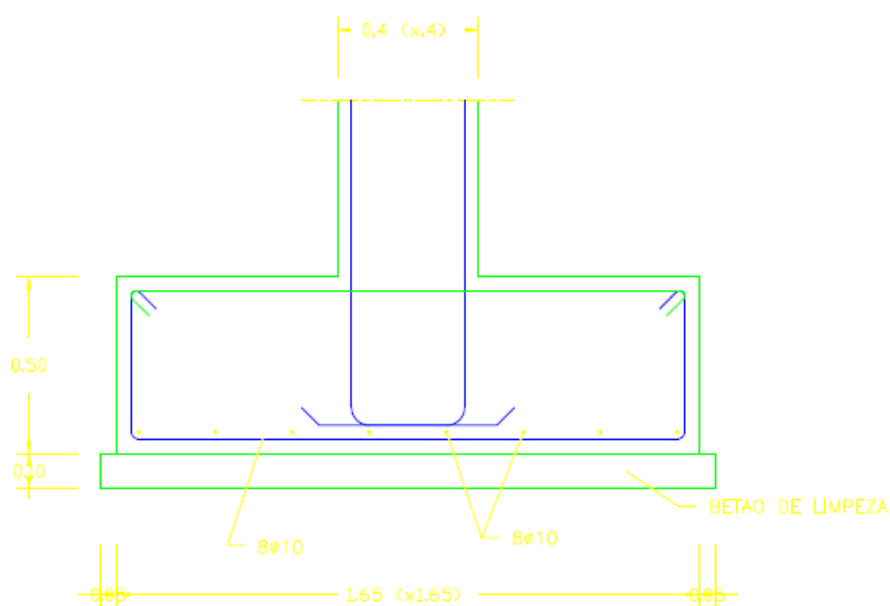


Figura 30 – Desenho da sapata retirado do PAC-Pórticos

2.2.2.2.5.3.6 – Planta de fundações

A última opção relativa ao submenu das sapatas é designada planta de fundações. Com esta opção é possível retirar a planta com a correta distribuição das sapatas, com as dimensões calculadas nas opções anteriores.

2.2.2.2.5.4 – Dimensionamento de pilares e sapatas isoladamente

Ainda dentro do menu DIMENSIONAMENTO existe um submenu destinado ao dimensionamento de forma isolada de pilares e sapatas. Pode-se recorrer a esta opção do programa se já forem

conhecidos os esforços presentes no pilar/sapata a analisar, ou caso o utilizador selecione elementos já criados para edição.

Tratando-se de um caso de dimensionamento isolado, para o cálculo dos pilares, é necessário introduzir os valores correspondentes ao esforço de compressão (Nsd) e aos momentos fletores em cada extremidade do tramo em análise para o eixo x e y (Msd ex, Msd ey, Msd dx e Msd dy). Já para as sapatas, é necessário introduzir os valores correspondentes ao esforço de compressão (Nsd) e aos momentos em ambas as direções (Msd x e Msd y). Introduzindo estes parâmetros no programa o dimensionamento de cada elemento é automático, dando no entanto liberdade ao projetista de realizar as alterações que entender no dimensionamento final das peças.

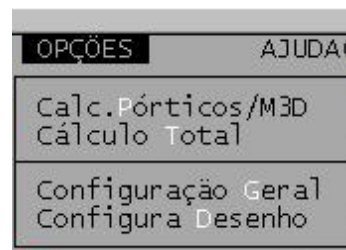
2.2.2.2.5.5 – Lajes fungiformes

O submenu relativo às lajes fungiformes não se encontrava disponível na versão testada, no entanto, o seu funcionamento segue o exposto nos artigos 118º e 119º do REBAP.

2.2.2.2.6 – Opções

O último menu OPÇÕES é dividido pelos seguintes submenus:

- Calc.Pórticos/M3D, que tem a função de realizar todos os cálculos referentes ao pórtico selecionado.
- O Cálculo Total como o próprio nome indica, calcula todos os elementos inseridos no programa.
- Os submenus seguintes, Configuração Geral e Configura Desenho permitem alterar respetivamente as configurações gerais do programa e as configurações para a elaboração dos desenhos.



2.2.3 – Cálculo estrutural automático na atualidade

À medida que as potencialidades informáticas foram crescendo, começaram a surgir os primeiros programas de cálculo estrutural automático, sendo o PAC-Pórticos, datado de 1991, um dos primeiros em Portugal.

Os primeiros programas a surgir no mercado, na sua generalidade, eram orientados para executar um conjunto restrito de tarefas, e isso deve-se a um conjunto diverso de fatores, tais como:

- ❖ Limitada capacidade dos meios informáticos;
- ❖ A programação era executada com recurso a linguagens mais limitadas se comparadas às usadas atualmente, o que implicava um código muito extenso para executar pequenas tarefas;
- ❖ A informática, apesar do rápido crescimento e potencialidade, ainda era desconhecida por grande parte dos profissionais da construção.

Com a contínua evolução da informática, os programas foram ficando cada vez mais completos o que fez com que muitos destes fossem recebendo mais aceitação por parte do mercado.

Nos dias de hoje, o cálculo estrutural é quase na sua totalidade realizado com recurso aos mais diversos programas de cálculo disponíveis no mercado, pois a capacidade de cálculo por parte de um *software* é enorme, permitindo o uso de métodos avançados de cálculo inexequíveis até há poucos anos.

Atualmente os programas de cálculo mais utilizados permitem não só o processamento automático dos cálculos com opções de vários modelos numéricos, como a apresentação gráfica dos resultados e a geração dos desenhos de detalhe. No entanto, há particularidades que diferenciam os diversos programas mais utilizados atualmente, tornando cada um destes distinto dos restantes. Como forma de perceber as principais características e funcionalidades dos programas mais utilizados, foi feita uma análise ligeira a três que é apresentada de seguida:

- ❖ O *Robot Structural Analysis* “é um programa de cálculo automático destinado à análise estrutural com uma interface de trabalho tridimensional. Utiliza o método dos elementos finitos e permite efetuar análises lineares e não-lineares estáticas e dinâmicas. Possibilita ainda a realização de diversas verificações regulamentares com base nos vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, entre estes os Eurocódigos.” [32]. O Robot é desde 2008 um *software* de engenharia comercializado pela Autodesk, estando atualmente integrado com os restantes comercializados pela empresa, alguns destes adaptados ao conceito BIM, como é o caso de Revit.

- ❖ O SAP2000 é comercializado pela CSI Computers & Structures trata-se de um programa idêntico ao Robot da Autodesk, pois possui características muito idênticas a este. Todavia, uma das principais diferenças entre o SAP2000 e o Robot é o facto do segundo estar integrado numa família com outros programas de características totalmente distintas, como o Revit que é considerado uma das ferramentas BIM mais usadas. No entanto o SAP2000, atualmente, apresenta diversos instrumentos que possibilitam a sua ligação com algumas ferramentas BIM como o Revit e o Tekla, bem como a possível exportação/importação de ficheiros no formato IFC.

- ❖ Um outro programa bastante utilizado atualmente é o CypeCAD, comercializado pela empresa espanhola CYPE Ingenieros S.A este possui também uma interface de trabalho tridimensional, realizando a análise estrutural em 3D, por métodos matriciais de rigidez, através de todos os elementos que definem a estrutura. A introdução de dados se comparada com os dois programas apresentados anteriormente é bastante simplificada, pois, apresenta os menus de uma forma sequencial e intuitiva proporcionando fluidez na introdução.
A verificação regulamentar também pode ser verificada com base nos vários códigos de construção que dispõe na sua base de dados, dos quais se podem destacar os Eurocódigos assim como a legislação portuguesa ainda em vigor (REBAP e RSAEEP). Relativamente à integração com a metodologia BIM o CYPECAD permite atualmente exportar/importar ficheiros no formato IFC.

2.3 – Metodologia BIM

2.3.1 – O conceito BIM - Building Information Modeling

O conceito “*Building Information Modeling* (BIM) é uma inovadora metodologia de trabalho colaborativo que vem proporcionar uma nova abordagem à gestão da informação na construção, baseada na elaboração de um modelo virtual de informação destinada a edifícios e outras obras de engenharia civil. É considerado um dos mais promissores e recentes desenvolvimentos na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)” [5].

O princípio do BIM consiste assim num processo de partilha de informação entre todos os intervenientes, utilizando um modelo digital tridimensional. Tem como pressuposto que numa primeira fase a estrutura seja modelada num *software* tridimensional BIM, utilizando qualquer um dos disponíveis no mercado (exemplo o Revit). Estes modelos devem conter toda a informação relativa à edificação, desde a representação gráfica (desenhos rigorosos), à análise construtiva, quantificação de trabalhos e tempos de mão-de-obra, materiais e todos os restantes aspetos relacionados com a construção. Basicamente, o modelo contém toda a informação necessária para a validação e execução da obra.

Para além dos benefícios da aplicação desta metodologia já descritos, o recurso aos modelos digitais 3D tem inúmeras vantagens relativamente aos tradicionais desenhos 2D, entre elas, a possibilidade do projetista atualizar de forma automática e imediata pormenores construtivos, tais como, cortes, alçados, plantas e pormenores de forma consistente. A modelação possibilita também a extração automática de listas de quantidades de materiais, assim como uma larga gama de atividades analíticas tais como: cumprimento de regulamentações (térmica, acústica) ou até verificações associadas a outras especialidades (eletricidade, AVAC, gás, etc.).

Uma outra particularidade do BIM é o seu ciclo de vida, pois como já foi referido, a filosofia da metodologia passa por conter, de uma forma detalhada, todo o processo de construção num modelo, mas passa também por acompanhar todo o período de vida da edificação. Logo, devem ser adicionadas novas informações ao modelo à medida que se efetuam alterações no edifício, até mesmo no caso de obras de manutenção. Seguidamente é exibida uma representação (figura 31) do ciclo de vida da metodologia BIM.

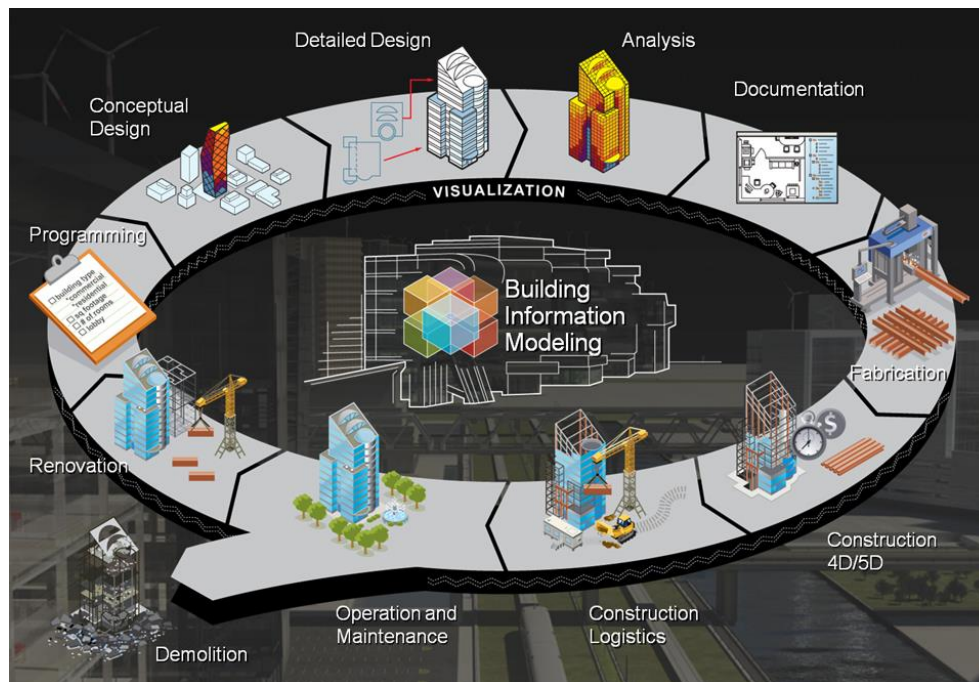


Figura 31 - Ciclo da metodologia BIM [7]

Em forma de exemplo, é exibida uma imagem que corresponde a um modelo tridimensional criado no Revit.



Figura 32 - Modelo tridimensional BIM [30]

O modelo digital, atualmente, contém como já referido um conjunto de informações relativas a outros dados, como por exemplo catálogos de fabricantes e ainda introduz de forma integrada e evolutiva no projeto um conjunto de novas dimensões, como sejam:

- 4D-BIM – corresponde ao parâmetro tempo. Esta dimensão permite análises das fases da construção do edifício.
- 5D-BIM – introduz o parâmetro custo ao projeto, o que permite a geração automática de orçamentos e representações de gastos em função do tempo.
- 6D-BIM – introduz o parâmetro da gestão. Um modelo BIM possui uma rica descrição dos elementos de construção e serviços de engenharia, o que fornece uma descrição integrada para uma construção.
- 7D-BIM – introduz o parâmetro da sustentabilidade, o que permite aos projetistas incorporar diferentes materiais para elementos específicos de projeto e validar as decisões de projeto em conformidade ou testar e comparar diferentes opções.

Em resumo, o BIM permite que, na fase de projeto, os projetistas possam interligar todas as diferentes especialidades num só modelo, possibilitando uma maior coordenação entre os diferentes intervenientes. Obtém-se, deste modo, modelos tridimensionais das estruturas bastante próximos da realidade, o que facilita a tomada de decisão por parte dos diversos projetistas participantes.

2.3.2 – Contextualização histórica

Desde os finais da década de 70 que o conceito BIM tem sido promovido pelas teorias desenvolvidas pelo Professor Charles M. Eastman na universidade Architecture and Computer Science da Georgia Institute of Technology, sendo ele o seu principal impulsionador. Os fatores essenciais para a implementação BIM e para o facto de este conceito ressurgir tão vigorosamente nestes últimos anos é a revolução dos Sistemas de Informação [10].

Tradicionalmente os projetos para a construção limitam-se à produção de desenhos e documentos elaborados manualmente, que, posteriormente, servem de guia para o construtor. Estes elementos descrevem o edifício através de linhas e planos desenhados, que requerem conhecimentos para conseguirem ser devidamente interpretados. Verifica-se, frequentemente, que são isentos de definição e demasiado vagos, permitindo que certas decisões fiquem a cargo de pessoal não qualificado para o efeito. Esta indefinição origina erros e custos indesejáveis [28].

No passado, todos os projetos eram concebidos recorrendo ao desenho manual até surgir *software* para o efeito. O primeiro surgiu em 1969, com o nome de CAAD (Computer Aided Architectural Design).

Após os anos 1980, começaram a ser comercializados em larga escala os microcomputadores, os quais se popularizaram como ferramenta para representação gráfica, surgindo os programas de CAD. A partir dessa altura, os computadores pessoais e os programas de CAD ganharam novas versões, mais rápidas e mais eficientes. [9] Em 1987 a Graphisoft lançou um *software* designado ArchiCAD. Este *software* foi dos primeiros capaz de criar desenhos em 2D assim como visualizar estruturas em 3D. O ArchiCAD com o conceito “edifício virtual” foi considerado a primeira implementação do BIM. No entanto o programa era lento e ineficiente, devido ao facto de ser uma versão primária e às reduzidas capacidades dos meios informáticos da época fazendo com que o programa tivesse pouco impacto nos primeiros tempos da sua comercialização.

Em 1997, foi fundada a empresa Charles River Software em Newton no estado de Massachusetts, por Irwin Jungreis e Leonid Raiz. O projeto inicial pretendia criar um *software* direcionado para a arquitetura com capacidades que ambos consideraram ser omissas nos programas disponíveis no mercado na época.

No ano 2000 a empresa foi renomeada Revit Technology Corporation e no mesmo ano lançaram a primeira versão do *software* desenvolvido, o Revit 1.0. Este foi o primeiro programa modelador paramétrico direcionado para a indústria AEC. O Revit 1.0 foi considerado um programa de fácil utilização, desenhado para facilitar a comunicação entre arquitetos, engenheiros e os empreiteiros.

Em 2002, a Autodesk comprou a Revit Technology Corporation, apostando de imediato em promover o Revit, esta aquisição acrescentou um notável desenvolvimento do *software*.

O Revit revolucionou o mundo da modelação digital 3D na área da construção, pois com o programa surgiu a possibilidade de utilizar famílias paramétricas de objetos representativos de componentes de construção. Adicionalmente permitiu incluir o fator tempo, originando os modelos 4D (quarta dimensão), associado aos elementos modelados, de grande interesse no planeamento da construção.

Tanto a Autodesk (com o Revit) como a Graphisoft (com o ArchiCAD) foram as empresas que mais contribuíram para a implementação da metodologia BIM. Atualmente, diversos promotores de desenvolvimento de sistemas CAD (Autodesk, Bentley Systems, Graphisoft, Tekla) têm apostado no BIM, criando inúmeras soluções baseadas neste conceito. Estas soluções são compostas basicamente por ferramentas especializadas para atender projetos de arquitetura, estruturas e instalações prediais, bem como a total integração desses projetos entre si recorrendo a um modelo comum.

2.3.3 – O crescente uso do BIM

Existem inúmeros indicadores que dão fortes indícios relativamente ao incremento da aplicação da metodologia BIM a nível mundial. Um desses indicadores é o relatório elaborado pela McGraw-Hill Construction, em 2008. Este documento foi realizado no sentido de ajudar a compreender melhor a grandeza da metodologia BIM e tendo a colaboração de um conjunto de parceiros de renome no mundo da construção norte-americana e mundial. O estudo foi baseado em entrevistas extensivas com todo o tipo de individualidades ligadas à indústria da construção, que diariamente lidam com este tema. No fim foi elaborado um relatório onde se concluiu que a metodologia BIM está rapidamente a impor-se no sector da construção por todo o mundo. Após anos de experiências e desenvolvimentos, a metodologia BIM está a transformar a forma como os projetistas abordam o trabalho.

A pesquisa demonstrou que os utilizadores veem de forma clara vários benefícios na aplicação da metodologia, pretendendo assim aumentar o uso do BIM no seu trabalho diário. Segundo o mesmo relatório, no ano de 2008, um terço dos utilizadores afirmaram que em pelo menos três dos últimos cinco projetos realizados, existiu uma forte aplicação da metodologia BIM.

A figura 33 foi retirada diretamente do relatório elaborado pela McGraw-Hill Construction, e é relativa à utilização da metodologia BIM por parte dos entrevistados no ano do estudo e do ano seguinte. Na figura é visível que era espectável um aumento do uso do BIM nos projetos, entre todas as entidades relacionadas com a construção.

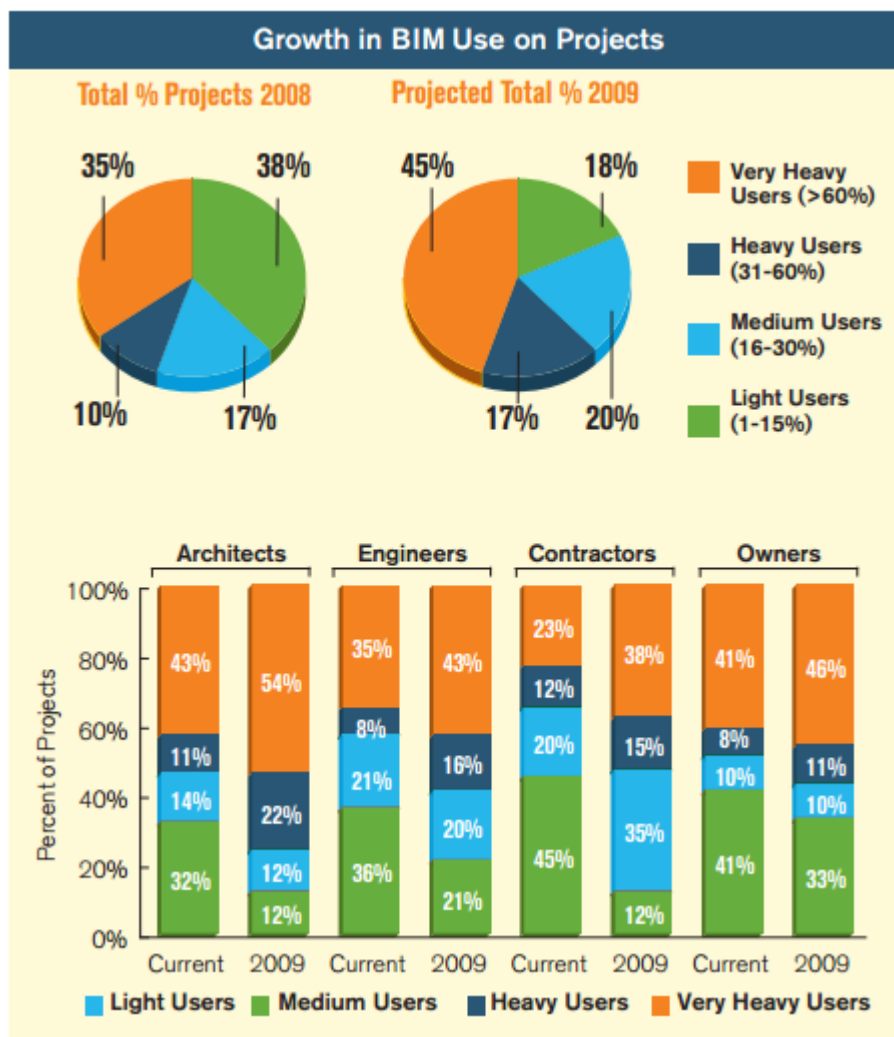


Figura 33 – Aumento do uso da metodologia BIM pelos partícipes em obra [21]

Um estudo mais recente elaborado pela PikeResearch em 2012 afirma que o mercado para as ferramentas BIM irá sentir um crescimento relativamente forte durante os próximos anos nas regiões do mundo onde a adoção da metodologia BIM está em curso. Segundo o mesmo estudo, no ano 2012, os produtos e serviços BIM movimentaram a nível mundial aproximadamente 1.8 mil-milhões de dólares. Já para o ano 2020, prevê-se que o BIM gere uma quantia próxima de 6.5 mil-milhões de dólares. O mesmo documento afirma que nos próximos anos (de 2012 em diante), os principais impulsionadores do crescimento BIM farão parte de regiões desenvolvidas. O ritmo de crescimento da metodologia corresponderá essencialmente ao da adesão das firmas dessas zonas. Nas regiões mais desfavorecidas, a adesão não será muito significativa nos próximos anos (de 2012 em diante), mas prevê-se que essas áreas comecem eventualmente a aderir à metodologia de forma progressiva.

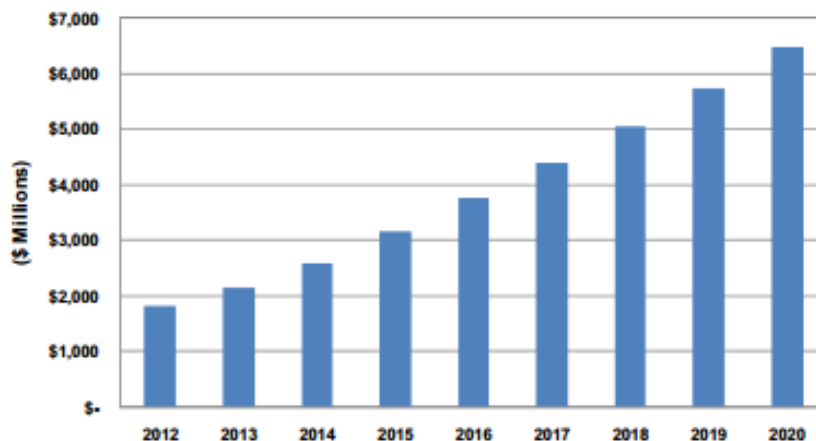


Figura 34 – Previsão do crescimento da metodologia BIM [25]

Para além destes estudos realizados, há mais indicadores como sejam a imposição da aplicação da metodologia BIM, por parte de um conjunto cada vez maior de países, pois é do interesse dos governos a melhoria da qualidade das construções, associada a uma redução de custos. Consequentemente, diversos países já tornaram o BIM obrigatório nas suas obras públicas, tais como os EUA, Singapura, Finlândia, Noruega, Holanda, Reino Unido, entre outros.

No panorama nacional, a utilização da metodologia BIM em Portugal já é aplicada em gabinetes de projetos sendo que sujeitos a alguns entraves que tornam lenta a sua adoção. Mesmo assim, “a pormenorização das peças em betão armado e pré-esforçado, que continua a estar muito conotada com o CAD 2D, tem merecido, ultimamente, amplos desenvolvimentos por parte dos produtores de *software* que buscam a sua inclusão mais automatizada no BIM, tornando a sua utilização mais prática e a expressão do seu detalhamento mais adequada ao nosso mercado” [7].

2.3.4 – Interoperabilidade e IFC

Como já referido, a filosofia BIM consiste essencialmente num processo de partilha de informação entre todos os intervenientes da obra. Com isto, surge a necessidade de transferir dados entre diferentes aplicações informáticas, no sentido de suportar o processo colaborativo de projeto.

Do ponto de vista da tecnologia informática, interoperabilidade é a capacidade de dois sistemas heterogéneos funcionarem um com o outro sem conflitos, proporcionando acesso aos seus dados de forma recíproca. O termo provém da capacidade de um sistema operar o outro, e vice-versa. No contexto operacional de empresas, interoperabilidade refere-se à capacidade de interação (incluindo

troca de informação e serviços) entre dois sistemas empresariais. A interoperabilidade é considerada significativa caso haja interações em pelo menos três níveis: dados, serviços e processos. Elimina-se assim a interação humana, o que previne erros na troca de dados entre os sistemas [31].

O BIM precisa de ter um elo de ligação que seja comum a todos os modelos, independentemente do *software* utilizado na criação destes. Estes autores admitem porém que está a ser feito um bom esforço no sentido de criar *standards* que definam a interoperabilidade entre modelos, para que toda a informação dos objetos seja corretamente transferida entre eles [15].

No sentido de obter a interoperabilidade no BIM, foi desenvolvido o modelo IFC (Industry Foundation Classes). O IFC é um formato aberto e com especificações padronizadas para as ferramentas BIM que interpreta as descrições dos elementos de modelos 3D entre as várias aplicações durante o processo de projeto. “Se comparado o IFC com o (.DXF), que é apenas um formato de ficheiros para descrição de elementos gráficos, os ficheiros IFC também definem as propriedades completas dos objetos arquitetónicos, tais como as suas características 3D, materiais e a sua relação com outros objetos” [10].

Apesar da interoperabilidade na metodologia BIM, mais especificamente o formato de ficheiro IFC serem assuntos mais discutidos nos últimos anos, a origem do IFC remonta ao ano de 1994 tendo sido desenvolvido por uma organização de empresas americanas ligadas à Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) que iniciou esforços para obter um modelo universal, eficaz e especificamente direcionado para a representação de dados de edificação. Como resultado da parceria deste conjunto de empresas americanas, reunidas em torno da Autodesk, surgiu a Industry Alliance for Interoperability (IAI), em 1994.

A IAI foi criada com o propósito de desenvolver aplicações com capacidade para suportar o desenvolvimento de futuras aplicações integradas e alguns meses bastaram para surgir as suas primeiras aplicações informáticas. Estas foram apresentadas no congresso (A/E/C Systems '95 em Atlanta, Georgia) tendo despertado grande interesse no setor.

Em 1997, a organização foi reconfigurada para uma entidade sem fins lucrativos redefinindo também o seu nome para International Alliance for Interoperability. No mesmo ano surgiu um modelo de dados neutro da IAI denominado IFC - Industry Foundation Classes.

A primeira versão do modelo foi designada IFC 1.0. Tratava-se de um formato focado essencialmente na parte arquitetónica da construção, mas com bastantes limitações. Numa primeira fase foi utilizado apenas por um total de 17 empresas locais. O intuito desta restrita utilização era de apontar falhas a serem corrigidas para a criação de uma nova versão, esta já abrangente a novos utilizadores. A segunda versão surgiu apenas um ano depois com o nome IFC 1.5.

Posteriormente foram sendo lançadas novas versões, cada vez mais abrangentes e aperfeiçoadas, como o IFC 2.0, o IFC2x e o IFC 2x2 respetivamente.

No ano de 2006 surgiu nova mudança na organização responsável pelo desenvolvimento do IFC, o que implicou um conjunto de alterações, começando pelo seu nome, passando a ser denominada buildingSMART. Esta alteração modificou também a visão em relação ao IFC. Se anteriormente o que se pretendia era “possibilitar uma interoperabilidade nos *software* usados na construção”, posteriormente passou a ser “melhorar a comunicação, produtividade, tempo, custos e qualidade durante todo o ciclo de vida da estrutura”, o que vai de encontro com a metodologia BIM.

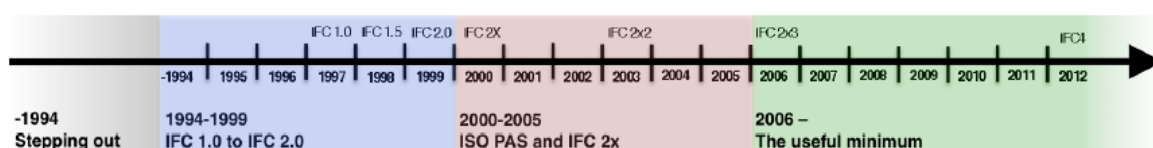


Figura 35 – Versões disponibilizadas do IFC [18]

A versão IFC 2x4, atualmente designada IFC4 é a versão mais recente do modelo de dados.

Atualmente o IFC é o maior modelo de informação de edificações, desenvolvido na indústria da construção sendo suportado pelos principais programas que permitem aplicar a metodologia BIM.



Figura 36 – Interoperabilidade entre sistemas [23]

Este modelo, em constante atualização, é ainda apoiado por outros produtos disponibilizados pela buildingSMART, com especial destaque para o IDM (Information Delivery Manuals), o IFD (International Framework for Dictionaries), e o MVD (Model View Definitions):

- O Information Delivery Manual (IDM) determina certos tipos de informações necessárias durante o projeto e especifica detalhadamente qual a informação que os intervenientes (arquitetos, engenheiros e construtores, entre outros) devem fornecer num determinado momento, oferecendo assim um entendimento comum entre as partes envolvidas no processo [6].
- International Framework for Dictionaries (IFD) representa uma biblioteca lançada pela buildingSMART com o intuito de apoiar o uso do protocolo IFC, permitindo, com recurso a um catálogo de objetos constituído por diferentes conjuntos de dados, que as diversas aplicações comuniquem com essa mesma base de dados mesmo que a comunicação se concretize em diferentes idiomas.
- O Model View Definitions (MVD) é um mecanismo criado para certificar a implementação e o desenvolvimento de *software* compatível com o modelo IFC, tendo em conta uma comparação rigorosa com determinados parâmetros [19].

Apesar do IFC ser já considerado o formato de base a nível internacional, não é ainda possível garantir uma transferência de dados, isenta de erros, entre aplicações. [14] A principal causa para falhas na transferência de dados reside nas diferenças entre as aplicações BIM adaptadas para trabalhar com o IFC, uma vez que cada *software* apresenta uma estrutura de organização de dados diferente resultando em problemas de tradução e limitações na interoperabilidade desejada. Ou seja, no caso em que o programa importa um modelo IFC, todas as entidades que fazem parte de seu reportório serão reconhecidas convenientemente, mas aquelas que não existem no seu reportório não serão reconhecidas. Além disso, verifica-se também que, diversas áreas da construção ainda não se encontram integradas com o modelo IFC [17].

Segundo a buildingSMART, só uma implementação do IFC a larga escala, definirá os pontos fortes e fracos do modelo, fazendo-o progredir. Para tal, será essencial o apoio dos governos, das grandes empresas e clientes, em reforçar os esforços com vista à adoção dos modelos de informação na construção [29].

3 – Comparação entre regulamentos

3.1 – Introdução

Tendo em conta que a teoria do comportamento das estruturas de betão armado tem a sua origem no início do século XX e que a filosofia de dimensionamento das estruturas em estados limites foi essencialmente estabelecida nos anos 60 é natural que uma nova regulamentação não introduza alterações significativas na sua essência [3]. Existem, no entanto, algumas mudanças na forma e conteúdo do dimensionamento de estruturas de betão armado entre a regulamentação nacional ainda vigente e os Eurocódigos. Perante este cenário torna-se fundamental realizar uma análise comparativa entre os regulamentos de forma a prosseguir com o trabalho proposto.

Os dois regulamentos em comparação são os seguintes:

- REBAP – Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado, surgiu com a necessidade de reestruturar a antecedente regulamentação, fundamentalmente devido à evolução significativa dos conceitos sobre segurança estrutural entretanto verificada. Trata-se da última regulamentação divulgada na área do betão armado em Portugal estando atualmente ainda em vigor.
- O EC 2 - Eurocódigo 2 está integrado num conjunto de euronormas que complementarmente estabelecem o futuro quadro normativo a adotar no projeto de estruturas. O propósito de criação destas normas é unificar critérios e normativas de cálculo e dimensionamento de estruturas na Europa.

Como já referido anteriormente, esta comparação tem o intento de estudar os parâmetros a atualizar no PAC-Pórticos, mas antes de proceder à comparação é imprescindível referir alguns pormenores gerais que diferem do REBAP para o Eurocódigo 2.

Um primeiro aspeto que difere entre os regulamentos é a organização dos mesmos. O REBAP abrange as questões relativas ao dimensionamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado e foi elaborado juntamente com o RSAEEP, de modo a integrar a sua linha de orientação. O EC 2 contém as normas para o projeto e estruturas de betão, e, como já referido, está integrado num conjunto de Normas Europeias (EN) para o projeto de estruturas de edifícios e de outras obras de engenharia civil.

O programa dos Eurocódigos Estruturais desenvolve-se em dez áreas da engenharia civil, a que correspondem outras tantas normas europeias, nomeadamente:

- EN 1990 Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas;
- EN 1991 Eurocódigo 1 – Ações em estruturas;
- EN 1992 Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão;
- EN 1993 Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço;
- EN 1994 Eurocódigo 4 – Projeto de estruturas mistas aço-betão;
- EN 1995 Eurocódigo 5 – Projeto de estruturas de madeira;
- EN 1996 Eurocódigo 6 – Projeto de estruturas de alvenaria;
- EN 1997 Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico;
- EN 1998 Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos;
- EN 1999 Eurocódigo 9 – Projeto de estruturas de alumínio.

O facto de as EN estarem divididas em diferentes partes acaba por tornar o REBAP um documento, de uma forma geral, mais abrangente de matérias se comparado com o EC 2, pois há assuntos que nos eurocódigos são abordadas em diferentes documentos. Entre estes, há o capítulo do “REBAP sobre estruturas de ductilidade melhorada (Cap XII) (que estabelece conceitos e critérios básicos para um dimensionamento adequado em zonas sísmicas) que não tem equivalente no EC2” [3].

Outro aspeto que difere entre os regulamentos é nomenclatura e simbologia adotada pelo EC2 que em muitas situações difere da adotada no REBAP.

De uma forma global, no entanto, pode afirmar-se que em termos de resultados práticos a alteração do REBAP para o EC2 não é significativa. Ou seja uma estrutura bem concebida e dimensionada de acordo com o REBAP estará igualmente, a menos de pormenores, bem dimensionada de acordo com o EC2 [3].

3.2 – Comparação REBAP / EC 2

Neste ponto é apresentada a comparação entre artigos de ambos os regulamentos (REBAP e do Eurocódigo 2) usando tabelas com o propósito de tornar as diferenças entre os dois regulamentos mais visíveis e de fácil compreensão.

A comparação seguinte foca apenas os critérios que interferem no dimensionamento dos diferentes elementos estruturais cujo cálculo está contemplado no PAC-Pórticos, desde as vigas, pilares, sapatas e lajes. Neste capítulo não serão abordadas questões de nomenclatura, de propriedades dos materiais, de compatibilização de ações, de pré-esforço.

Os dois regulamentos estão organizados com uma sequência diferente a ordem padrão seguida para a presente comparação será a do REBAP de forma a facilitar a interpretação das diferenças. Os artigos do EC2 correspondentes serão abordados pela ordem do primeiro.

Para a realização da comparação foram consultados vários documentos que abordam a comparação entre estes regulamentos de uma forma parcial. No entanto, a comparação adiante apresentada baseia-se essencialmente nos dois documentos seguintes:

- O artigo – “Implementação do Eurocódigo – (EN1992-1) em Portugal. Comparação com REBAP” da autoria de J. Appleton & P. França [3].
- O relatório de projeto – “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes [13].

3.2.1 – Vigas

3.2.1.1 – Vigas segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às vigas no capítulo XI, subcapítulo A. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- **Artigo 87.º - Vão teórico**
Segundo o presente artigo, o vão teórico a considerar no dimensionamento das vigas deve ser estabelecido tendo em conta as condições efetivas de apoio.
- **Artigo 88.º - Largura do banzo comprimido das vigas em T**
Este artigo trata a largura a considerar de banzo comprimido para vigas T e para vigas L.
- **Artigo 89.º - Altura mínima**
Para determinar a altura mínima das vigas de betão armado segundo o estipulado no presente artigo, deve-se verificar o estipulado nos artigos 72º e 73º referentes à deformação da peça.
- **Artigo 90.º - Armadura longitudinal mínima e máxima**
Este artigo trata as áreas mínimas e máximas regulamentares de armadura longitudinal numa viga.
- **Artigo 91.º - Espaçamento máximo dos varões da armadura longitudinal**
Para determinar o espaçamento máximo dos varões segundo o estipulado neste artigo, deve-se verificar o estipulado nos artigos 68º e 70º referentes à fendilhação da peça.
- **Artigo 92.º - Interrupção da armadura longitudinal**
Este artigo apresenta as condições a cumprir relativamente á interrupção da armadura longitudinal nas vigas.

- **Artigo 93.º - Armadura longitudinal nos apoios**
Este artigo trata os comprimentos mínimos de amarração e de continuidade de armaduras para diferentes condições de apoio das vigas.
- **Artigo 94.º - Armadura de esforço transverso**
Este artigo trata o dimensionamento da armadura para o esforço transverso, assim como as condições de amarração da mesma.
- **Artigo 95.º - Armadura de torção**
Este artigo define a armadura de torção a considerar transversalmente e longitudinalmente. A disposição das armaduras no elemento deve ser coerente com o definido no artigo 55º referente aos efeitos de torção.
- **Artigo 96.º - Armadura de alma**
Este artigo assinala as condições em que se deve considerar inserir amadura de alma na peça.
- **Artigo 97.º - Armadura de ligação dos banzos à alma**
Este artigo trata os casos em que há necessidade de adicionar armadura ligante entre os banzos e a alma da peça. No caso de necessidade, estas são dimensionadas de acordo com o estabelecido no artigo 74º referente a armaduras principais e secundárias.
- **Artigo 98.º - Armadura de suspensão. Apoios indiretos.**
Este artigo trata os casos em que há necessidade de adicionar armadura de suspensão, assim como as condições de amarração das mesmas.
- **Artigo 99.º - Armadura para absorção das forças de desvio.**
Segundo o presente artigo, as forças que se originam em zonas de mudança de direção dos esforços internos de compressão ou de tração e que são dirigidas para o exterior dos elementos (forças de desvio), devem ser convenientemente absorvidas por armaduras.

3.2.1.2 – Vigas segundo o EC2

O EC2 trata as disposições construtivas relativas às vigas no capítulo 9, ponto 9.2. No entanto, os assuntos correspondentes ao apresentado nos artigos do REBAP, que servem como comparação, estão distribuídos ao longo do EC2, logo, seguidamente são estes os identificados e analisados a incluir na presente comparação.

- Ponto 5.3.2 (1).º - Largura do banzo comprimido das vigas em T
Este ponto refere que nas vigas em T, a largura efetiva do banzo comprimido, ao longo da qual se podem admitir condições de tensão uniforme, depende das dimensões da alma e do banzo, do tipo de ação, das condições de apoio e das armaduras transversais.
- Ponto 7.4.2.º - Altura mínima
Para obter a altura mínima de acordo com o EC2, recorre-se à expressão estabelecida para o cálculo da altura útil (d).
- Ponto 9.2.1.1.º - Armadura longitudinal mínima e máxima
Neste ponto é apresentado o método de cálculo de armaduras máximas e mínimas longitudinais a aplicar nas vigas.
- Ponto 7.3.3 (2).º - Espaçamento máximo dos varões da armadura longitudinal
Para determinar o espaçamento máximo dos varões segundo o estipulado no presente ponto, deve-se ter em consideração o estipulado no ponto 7.3.4 (1) correspondente à largura de fendas.
- Ponto 9.2.1.3.º - Interrupção da armadura longitudinal (de tração)
Este ponto apresenta as condições a cumprir relativamente à interrupção da armadura longitudinal de tração.
- Ponto 9.2.1.4.º - Amarração de armaduras inferiores em apoios extremos
Este ponto trata a área de armadura mínima e os comprimentos mínimos de amarração no caso de apoios extremos.

- Ponto 9.2.1.5.º - Amarração de armaduras inferiores em apoios intermédios
Este ponto trata a área de armadura mínima e os comprimentos mínimos de amarração no caso de apoios intermédios.
- Ponto 9.2.2.º - Armaduras de esforço transversal
Este ponto trata o dimensionamento da armadura para o esforço transversal, assim como as condições de amarração da mesma.
- Ponto 9.2.3.º - Armadura de torção
Este ponto define a armadura de torção a considerar transversalmente assim como as condições de amarração.
- Ponto 9.2.4.º - Armadura de pele
Este ponto assinala a necessidade de usar armadura de pele nas vigas, para certas circunstâncias. As disposições construtivas relativas a armaduras de pele estão apresentadas nos anexos do EC2.
- Ponto 6.2.4.º - Corte na ligação da alma aos banzos
Este ponto aborda as condições de dimensionamento para o cálculo da armadura a dispor no banzo e na ligação banzo-alma.
- Ponto 9.2.5.º - Apoios indiretos
Este ponto aponta para a necessidade de utilizar uma armadura dimensionada nas situações em que uma viga apoia noutra ou nos casos em que uma laje não apoia na parte superior de uma viga.

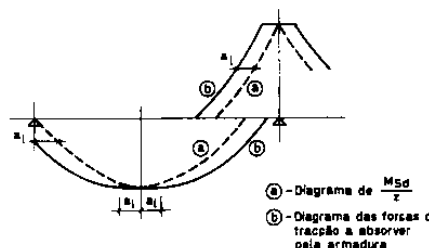
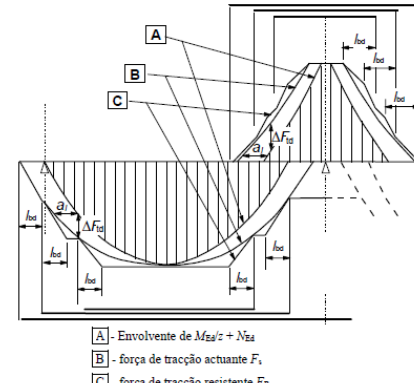
3.2.1.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Vigas

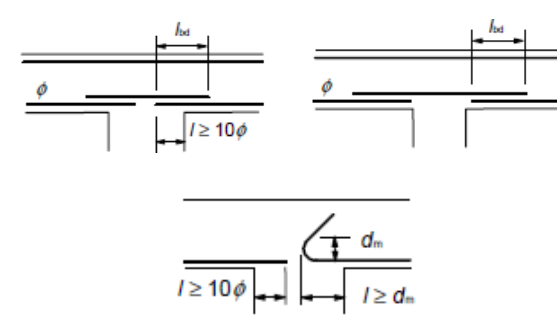
Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das vigas foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Vão Teórico | <p>O vão teórico a considerar no dimensionamento das vigas, para os casos correntes é considerado do seguinte modo:</p> <p>1 – Para vigas simplesmente apoiadas:</p> $l \leq \begin{cases} l_0 + \frac{1}{3} \times b_{\text{apoio}} \\ l_0 + d \end{cases}$ <p>2 – Para vigas encastradas:</p> $l \leq \begin{cases} L \\ l_0 + d \end{cases}$ <p>3 – Para vigas contínuas:</p> $l = L$ | <p>O vão efetivo l_{eff} para uma viga é calculado do seguinte modo:</p> $l_{\text{eff}} = l_n + a_1 + a_2$ <p>Sendo:</p> <p>l_n – distância livre entre as faces dos apoios;</p> <p>a_1 e a_2 – são valores que dependem diretamente do tipo de apoio utilizado.</p> |
| Largura no banzo | <p>A menos de determinação mais precisa, a largura a considerar para o banzo comprimido das vigas das vigas em T e L respetivamente é a seguinte:</p> $b \leq \begin{cases} b_w + 2 \times \left(\frac{1}{10} \times l_0\right) \\ b_w + 2 \times \left(\frac{1}{2} \times h_0\right) \end{cases}$ $b = b_w + \left(\frac{1}{10} \times l_0\right)$ | <p>A largura efetiva do banzo b_{eff} para uma viga em T ou para uma viga em L poderá ser considerada igual a:</p> $b_{\text{eff}} = \Sigma b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$ <p>Em que:</p> $b_{\text{eff},i} = 0.2 \times b_i + 0.1 \times l_0 \leq 0.2 \times l_0$ |
| Altura mínima | <p>A altura das vigas de betão armado, a menos de justificação especial com base nos artigos correspondente à deformação, deve satisfazer a seguinte condição:</p> $\frac{l_i}{h} \leq 20 \times \eta$ | <p>Altura mínima é definida em conjunto com a altura útil (d), segundo a seguinte expressão:</p> $\left(\frac{l}{d}\right) = \left(\frac{l}{d}\right)^* \times k_t \times k_l \times k_{\sigma_s}$ |

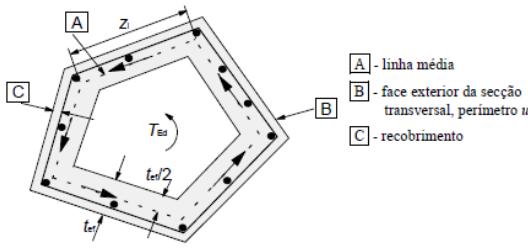
| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|--|------|------|------|------------------------------|---|------|----|--------------------------------------|---|-----|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------|------------------------------------|--|--|-------------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|---|-----|-----|----|---|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura mínima (continuação) | <p>No caso de vigas, cuja deformação afeta paredes divisórias, o cálculo é realizado da seguinte forma:</p> $\frac{l_i}{h} \leq \frac{120}{l_i} \times \eta$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Armaduras longitudinais mínimas e máximas | <p>Para o cálculo da armadura mínima:</p> $\rho = \frac{A_{s,min}}{b_t \times d} \times 100$ $\rho \geq \begin{cases} 0.25 \rightarrow A235 \\ 0.15 \rightarrow A400 \\ 0.12 \rightarrow A500 \end{cases}$ <p>Para o cálculo da armadura máxima:</p> $A_{s,max} = 0.04 \times A_c$ | <p>Para o cálculo da armadura mínima:</p> $A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d$ $A_{s,min} \geq 0.0013 \times b_t \times d$ <p>Para controlo de fendilhação é necessária uma quantidade mínima de armaduras aderentes:</p> $A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d$ <p>Para o cálculo da armadura máxima:</p> $A_{s,max} = 0.04 \times A_c$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espaçamentos máximos de armaduras longitudinais | <p>Em casos correntes, o espaçamento dos varões de armadura longitudinal, não deve, para as armaduras ordinárias, ser superior aos valores indicados no quadro abaixo, exopto nos casos justificados com base nos artigos referentes à fendilhação:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ambiente</th> <th colspan="3">Tipo de aço</th> </tr> <tr> <th>A235</th> <th>A400</th> <th>A500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pouco agressivo (w = 0.3 mm)</td> <td>-</td> <td>12.5</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Moderadamente agressivo (w = 0.2 mm)</td> <td>-</td> <td>7.5</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 2 – Espaçamento máximo dos varões. - REBAP</i></p> <p>Nota: Os valores tabelados estão em cm.</p> | Ambiente | Tipo de aço | | | A235 | A400 | A500 | Pouco agressivo (w = 0.3 mm) | - | 12.5 | 10 | Moderadamente agressivo (w = 0.2 mm) | - | 7.5 | 5 | <p>Para seções retangulares deve haver pelo menos um varão em cada canto, sendo o espaçamento máximo de:</p> $s \leq 35 \text{ cm}$ <p>No entanto o regulamento define espaçamentos limite (mm) para controlo indireto da fendilhação:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tensão no aço (MPa)</th> <th colspan="3">Espaçamento máximo dos varões (mm)</th> </tr> <tr> <th>wk = 0.4 mm</th> <th>wk = 0.3 mm</th> <th>wk = 0.2 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>160</td> <td>300</td> <td>300</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>300</td> <td>250</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>240</td> <td>250</td> <td>200</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>280</td> <td>200</td> <td>150</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>320</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>360</td> <td>100</td> <td>50</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 3 - Espaçamento máximo dos varões. – EC 2</i></p> | | Tensão no aço (MPa) | Espaçamento máximo dos varões (mm) | | | wk = 0.4 mm | wk = 0.3 mm | wk = 0.2 mm | 160 | 300 | 300 | 200 | 200 | 300 | 250 | 150 | 240 | 250 | 200 | 100 | 280 | 200 | 150 | 50 | 320 | 150 | 100 | - | 360 | 100 | 50 | - |
| Ambiente | Tipo de aço | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | A235 | A400 | A500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pouco agressivo (w = 0.3 mm) | - | 12.5 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moderadamente agressivo (w = 0.2 mm) | - | 7.5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tensão no aço (MPa) | Espaçamento máximo dos varões (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | wk = 0.4 mm | wk = 0.3 mm | wk = 0.2 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 160 | 300 | 300 | 200 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 300 | 250 | 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 240 | 250 | 200 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 280 | 200 | 150 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 320 | 150 | 100 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 360 | 100 | 50 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Interrupção da armadura longitudinal | <p>A armadura longitudinal de tração pode ser interrompida desde que se garanta a absorção das forças de tração correspondentes a um diagrama obtido por translação de M_{sd}/z, em que M_{sd} é o valor de cálculo do momento e z é o binário das forças interiores da peça.</p>  <p> (A) - Diagrama de $\frac{M_{sd}}{z}$ (B) - Diagrama das forças de tração a absorver pela armadura </p> <p><i>Figura 37 – Representação da interrupção da armadura longitudinal, tendo em conta os efeitos considerados.</i></p> <p>O valor de translação, al, depende do valor de cálculo de esforço transversal atuante (V_{sd}) e da inclinação dos varões verticais.</p> <p>O REBAP trata os comprimentos de amarração (l_{bd}) para as situações de dispensa de armaduras, nos art. 81.º e 82.º. Nos casos em que a armadura é utilizada para absorção de esforços transversais, o comprimento l_{bd} é alterado em 30%.</p> | <p>O EC2 afirma que, deverão utilizar-se, em todas as seções, armaduras suficientes para resistir à envolvente da força de tração atuante, incluindo o efeito das fendas inclinadas nas almas e nos banzos.</p>  <p> [A] - Envolvente de $M_{sd}/z + N_{Ed}$ [B] - força de tração actuante F_t [C] - força de tração resistente F_{Rd} </p> <p><i>Figura 38 – Representação da interrupção da armadura longitudinal, tendo em conta os efeitos considerados.</i></p> <p>O valor da força de tração adicional, ΔF_{td}, é calculado conforme a existencia de armadura resistente ao esforço transversal.</p> <p>O comprimento de amarração (l_{bd}) de um varão que contribui para a resistencia ao esforço transversal não deverá ser inferior a $1.3 l_{bd}$ na zona de tração e a $0.7 l_{bd}$ na zona de compressão.</p> |
| | Comprimento de amarração das armaduras superiores nos apoios | <p>Nos apoios de encastramento os comprimentos de amarração, obtidos nos art. 81.º e 82.º, deverão ser efetuados a partir da face interior do apoio, à menor das seguintes distâncias:</p> $x \leq \begin{cases} \text{largura do apoio} \\ 2 \times d \end{cases}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Comprimento de amarração das armaduras inferiores nos apoios</p> | <p>Nos apoios de encastramento (ou de continuidade), as amarrações que haja necessidade de aí realizar na armadura longitudinal de tração correspondente ao momento de encastramento, devem ser efetuadas de acordo com os comprimentos definidos nos art. 81.º e 82.º</p> <p>Nos apoios com liberdade de rotação, deve medir-se o comprimento de amarração a partir da face interior do apoio, em apoios diretos a partir de 1/3 da largura do apoio. Os comprimentos de amarração devem ser determinados segundo os art. 81.º e 82.º, para uma força de:</p> $F_s = V_{sd} \times \frac{al}{d}$ <p>Contudo, tratando-se de apoios diretos, os comprimentos de amarração podem ser reduzidos em 1/3, mantendo porém, o mínimo de 10ϕ, no caso de varões em geral.</p> | <p>O EC2 trata primeiramente a armadura inferior referente aos apoios extremos, que no caso do grau de encastramento do apoio ser nulo, a armadura deverá ser pelo menos β_2 da área da armadura existente no vão. O valor recomendado no regulamento para β_2 é 0.25.</p> <p>A força de tração a amarrar poderá ser determinada aplicando a regra de translação, indicada seguidamente.</p> $F_{Ed} = V_{Ed} \times \frac{a_l}{z} + N_{Ed}$ <p>O comprimento de amarração é obtido de acordo com o ponto 8.4.4</p> <p>Para apoios intermédios a área de armadura mínima calcula-se de forma idêntica aos apoios com um grau de encastramento nulo.</p> <p>As figuras apresentam o modo como os comprimentos de amarração das armaduras inferiores devem ser dispostas nos apoios intermédios.</p>  <p><i>Figura 39 – Amarração de armaduras inferiores</i></p> |
| <p>Armadura superior nos casos de vigas simplesmente apoiadas</p> | <p>O REBAP menciona no capítulo XII referente às disposições relativas a estruturas de ductilidade melhorada, no art. 143.º correspondente às vigas de porticos, que em zonas de nós a armadura numa face não deve ser inferior a 50% da armadura na face oposta.</p> | <p>O EC2 explicita que mesmo que o cálculo tenha sido realizado para a hipótese de apoios simples, a secção de apoio deverá ser dimensionada para um momento fletor correspondente a um encastramento parcial de valor pelo menos igual a β_1. O valor recomendado para β_1 é de 0.15.</p> <p>Esta armadura terá de ser também sempre maior ou igual à armadura mínima.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--|--|-------|--------|--------|--------|-----|------|---------|-------|--------|------|---------|-------|--------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Armadura de esforço transverso (A_{sw})</p> | <p>O REBAP defende que a percentagem de estribos (ρ_w), não deve, em geral, ser inferior a:</p> $\rho \geq \begin{cases} 0.16 \rightarrow A235 \\ 0.10 \rightarrow A400 \\ 0.08 \rightarrow A500 \end{cases}$ <p>Essa percentagem é defenida pela relação:</p> $\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \times s \times \sin \alpha} \times 100$ <p>O esforço transverso é tratado no art. 53.º do REBAP, onde se afirma que:</p> $V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd}$ $V_{Rd} \leq \tau_2 \times b_w \times d$ <p>O V_{cd} corresponde à resistencia da peça de betão:</p> $V_{cd} = \tau_1 \times b_w \times d$ <p>O V_{wd} corresponde à resistência das armaduras de esforço transverso:</p> $V_{wd} = 0.9 \times d \times \frac{A_{sd}}{s} \times f_{syd} \times (1 + \cot \alpha) \times \sin \alpha$ | <p>O EC2 defende que a taxa de armaduras de esforço transverso (ρ_w), é obtida pela expressão:</p> $\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \times s \times \sin \alpha}$ <p>O EC2 define no entanto que a percentagem de estribos (ρ_w), não deve, em geral, ser inferior a:</p> $\rho_{w,min} = \frac{0.08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$ <p>As taxas mínimas de armadura transversal já calculadas estão visíveis na seguinte tabela:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">ρ_{w,min}</th> </tr> <tr> <th>Betão</th> <th>C20/25</th> <th>C25/30</th> <th>C30/37</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Aço</td> <td>S400</td> <td>0.08944</td> <td>0.100</td> <td>0.1095</td> </tr> <tr> <td>S500</td> <td>0.07155</td> <td>0.080</td> <td>0.0876</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 4 – Taxas mínimas de armadura</i></p> <p>Para o cálculo de estribos dispostos verticalmente:</p> $V_{rd,s} = \frac{A_{sd}}{s} \times z \times f_{ywd} \times \cot \theta$ $V_{rd,s} \leq V_{rd,máx} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd}}{(\cot \theta + \tan \theta)}$ <p>Para o cálculo de estribos inclinados:</p> $V_{rd,s} = \frac{A_{sd}}{s} \times z \times f_{ywd} \times (\cot \theta + \cot \alpha) \times \sin \alpha$ $V_{rd,s} \leq V_{rd,máx}$ $V_{rd,máx} = \frac{\alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times f_{cd} \times (\cot \theta + \tan \alpha)}{(1 + \cot^2 \theta)}$ <p>Para o cálculo da resistência de peça de betão, sem o efeito das armaduras:</p> $V_{rd,c} = \left[C_{rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d$ $V_{rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d$ | ρ _{w,min} | | | | Betão | C20/25 | C25/30 | C30/37 | Aço | S400 | 0.08944 | 0.100 | 0.1095 | S500 | 0.07155 | 0.080 | 0.0876 |
| | ρ _{w,min} | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Betão | C20/25 | C25/30 | C30/37 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aço | S400 | 0.08944 | 0.100 | 0.1095 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | S500 | 0.07155 | 0.080 | 0.0876 | | | | | | | | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espaçamentos máximos de armaduras de esforço transversal | <p>O espaçamento dos estribos, s, deve, no caso de estribos normais ao eixo da viga, respeitar as seguintes condições:</p> <p>1 – Zona onde:</p> $V_{sd} \leq \frac{1}{6} \times \tau_2 \times b_w \times d$ <p>$s \leq 0.9 \times d$, com o máximo de 30 cm.</p> <p>2 – Zona onde:</p> $\frac{1}{6} \times \tau_2 \times b_w \times d < V_{sd}$ <p>e</p> $V_{sd} \leq \frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d$ <p>$s \leq 0.5 \times d$, com o máximo de 25 cm.</p> <p>3 – Zona onde:</p> $\frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d \leq V_{sd}$ <p>$s \leq 0.3 \times d$, com o máximo de 20 cm.</p> | <p>O espaçamento longitudinal máximo entre armaduras de esforço transversal não deverá ser superior a $s_{l,máx}$</p> $s_{l,máx} = 0.75 \times d \times (1 + \cot \alpha)$ <p>O espaçamento longitudinal máximo de varões inclinados não deverá ser superior a $s_{b,máx}$</p> $s_{b,máx} = 0.6 \times d \times (1 + \cot \alpha)$ <p>O espaçamento transversal máximo entre ramos de estribos não deverá ser superior a $s_{t,máx}$</p> $s_{t,máx} = 0.75 \times d \leq 600 \text{ mm}$ |
| Translação do diagrama para resistir a envolvente das forças de tração | <p>O valor da translação, a_l, é calculado de acordo com o seguinte:</p> <p>1 – Zona onde:</p> $V_{sd} \leq \frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d$ <p>$a_l = d \rightarrow$ Estribos verticais</p> <p>$a_l = 0.75 \times d \rightarrow$ Estribos verticais com varões inclinados a 45°</p> <p>$a_l = 0.5 \times d \rightarrow$ Estribos a 45°</p> <p>2 – Zona onde:</p> $\frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d < V_{sd}$ <p>Nas zonas que respeitam a presente condição, o $a_l = 0.25 \times d$</p> | <p>O valor da translação, a_l, é calculado de acordo com o seguinte:</p> <p>1 – Caso a peça tenha armadura de esforço transversal:</p> $a_l = \frac{z \times (\cot \theta - \cot \alpha)}{2}$ <p>1 – Caso a peça não tenha armadura de esforço transversal:</p> $a_l = d$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Armaduras de torção longitudinais e transversais | <p>O REBAP aborda o esforço de torção no art. 55.º e apresenta para o cálculo do momento torsor resistente, T_{Rd}, é dado pelo menor dos valores obtidos pelas expressões seguintes:</p> $T_{Rd} = T_{cd} + T_{td}$ $T_{Rd} = T_{ld}$ <p>Os termos T_{cd}, T_{td} e T_{ld} dependem da geometria da secção e ainda, respetivamente, da classe do betão, da armadura transversal de torção e da armadura logitudinal de torção.</p> $T_{cd} = 2 \times \tau_1 \times h_{ef} \times A_{ef}$ $T_{td} = 2 \times A_{ef} \times \frac{A_{sl}}{u_{ef}} \times f_{syd}$ $T_{ld} = 2 \times A_{ef} \times \frac{A_{sl}}{S} \times f_{syd}$ <p>O valor de cálculo do momento torsor resistente determinado de acordo com as expressões anteriores deve satisfazer ainda a seguinte condição limite:</p> $T_{Rd} \leq 2 \times \tau_2 \times h_{ef} \times A_{ef}$ <p>Relativamente aos casos de secções sujeitas a torção circular associada a esforço transverso, consideram-se as duas alíneas seguintes:</p> <p>a) V_{cd} e T_{cd} são dados por:</p> <ul style="list-style-type: none"> No caso de $\tau_v + \tau_T \leq \tau_1$: $V_{cd} = \tau_1 \times \left(\frac{\tau_v}{\tau_v + \tau_T} \right) \times b_w \times d$ $T_{cd} = 2 \times \tau_1 \times \left(\frac{\tau_T}{\tau_v + \tau_T} \right) \times h_{ef} \times A_{ef}$ No caso de $\tau_v + \tau_T > \tau_1$: $V_{cd} = \tau_1 \times b_w \times d$ $T_{cd} = 0$ | <p>Segundo o EC2, para secções cheias, aproximadamente retangulares, só é necessária uma amadura mínima desde que se verifique a seguinte condição:</p> $\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1.0$ <p>Em que:</p> $T_{Rd,c} = T_{Ed} \text{ com } (\tau_{ti} = f_{ctd})$ <p>A resistência máxima de um elemento sujeito aos esforços de torção e transverso é limitada pela resistência das escoras de betão. Para que esta resistência não seja excedida, a seguinte condição deverá ser satisfeita:</p> $\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,m\acute{a}x}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,m\acute{a}x}} \leq 1.0$ <p>Em que:</p> $T_{Rd,m\acute{a}x} = 2 \times v \times \alpha_{cw} \times f_{cd} \times t_{ef,i} \times \sin \theta \times \cos \theta$ <p>A ilustração seguinte retirada do regulamento, apresenta os esforços provocados numa secção sujeita a efeitos de torção.</p>  <p>Figura 40 – Efeitos de torção.</p> <p>A tensão tangencial numa parede de uma secção sujeita a um momento torsor circular poderá ser calculada a partir de:</p> $\tau_{t,i} \times t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \times A_k}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Armaduras de torção longitudinais e transversais (continuação)</p> | <p>Em que:</p> $\tau_v = \frac{V_{sd}}{b_w \times d}$ $\tau_T = \frac{T_{sd}}{2 \times h_{ef} \times A_{ef}}$ <p>b) As condições limites para os valores de cálculo do esforço transversal do momento torsor resistentes são:</p> $V_{rd} = \tau_2 \times \left(\frac{\tau_v}{\tau_v + \tau_T} \right) \times b_w \times d$ $T_{rd} = 2 \times \tau_2 \times \left(\frac{\tau_T}{\tau_v + \tau_T} \right) \times h_{ef} \times A_{ef}$ | <p>O esforço tangencial $V_{Ed,i}$ numa parede i devido à torção é obtido por:</p> $\tau_{t,i} \times t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2 \times A_k}$ <p>A área da secção transversal da armadura longitudinal de torção é calculada a partir da seguinte expressão:</p> $\frac{\Sigma A_{sl} \times f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2 \times A_k} \times \cot \theta$ $\Sigma A_{sl} = \frac{T_{Ed} \times u_k \times \cot \theta}{2 \times A_k \times f_{yd}}$ |
| <p>Espaçamentos máximos da armadura de torção</p> | <p>Para as armaduras longitudinais:</p> $s_l \leq 35 \text{ cm}$ <p>Para as armaduras transversais:</p> $s_t \leq \frac{1}{8} \times u_{ef}$ $s_t \leq 30 \text{ cm}$ | <p>Pelo menos um varão em cada canto da secção, sendo os restantes distribuídos uniformemente ao longo do contorno interno das cintas, com um espaçamento máximo de:</p> $s_t \leq 35 \text{ cm}$ <p>Para as armaduras transversais:</p> $s_t \leq \frac{u_{ef}}{8}$ |
| <p>Armadura de alma ou de pele</p> | <p>Nas vigas de altura superior a 1m deve ser disposta uma armadura de alma, de preferência na sua zona tracionada. A armadura deverá ser constituída do mesmo aço que o da armadura longitudinal e colocada ao longo da altura da secção transversal, a área de armadura a colocar deverá cumprir o seguinte critério:</p> $A_{alma} \geq 4\% \times A_{sl}, \text{ em cada face}$ | <p>O EC2 defende que, em certos casos, poderá ser necessário utilizar armaduras de pele para controlar a fendilhação ou para assegurar uma resistência adequada ao destacamento do betão de recobrimento. Deverá utilizar-se uma armadura de pele para resistir ao destacamento do betão quando a armadura principal for constituída por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varões de diâmetro > 32 mm • Agrupamento de varões com diâmetro equivalente > 32 mm <p>Relativamente à área da secção das armaduras de pele, $A_{s,surf}$:</p> $A_{s,surf} \geq A_{s,surf,min}$ $A_{s,surf,min} \geq 0.01 \times A_{ct,ext}$ |

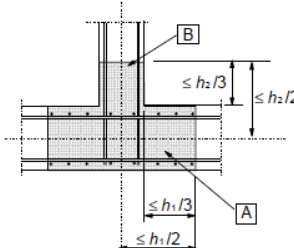
| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas | | |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Ligação dos banzos à alma | <p>O REBAP, para os casos em que existam nos elementos estruturais superfícies segundo as quais haja tendência para o deslizamento devido a tensões tangenciais, apresenta um método de dimensionamento de armaduras que atravessam os diversos elementos designada de “regra das costuras”, segundo a seguinte expressão:</p> $V_{sd} \leq \frac{A_s}{S} \times f_{syd} \times (1 + \cot \alpha) \times \sin \alpha$ | <p>A tensão de corte longitudinal, v_{Ed}, na ligação de um lado do banzo com a alma, é determinada da seguinte forma:</p> $v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_f \times \Delta x}$ <p>Para o cálculo da armadura transversal por unidade de comprimento:</p> $\frac{A_{sf} \times f_{yd}}{s_f} \geq v_{Ed} \times \frac{h_f}{\cot \theta_f}$ <p>Para impedir o esmagamento das escoras comprimidas no banzo, deverá ser satisfeita a seguinte condição:</p> $v_{Ed} \leq v \times f_{cd} \times \sin \theta_f \times \cos \theta_f$ |
| Armadura de suspensão. Apoios indiretos | <p>O REBAP afirma que, a ligação entre uma viga principal e uma secundária deve realizar-se por meio de armaduras de suspensão constituídas por estribos adicionais da viga principal, cuja secção seja suficiente para absorver a força de apoio da viga secundária</p> <p>O V_{wd} corresponde à resistência das armaduras de esforço transverso:</p> $V_{wd} = 0.9 \times d \times \frac{A_{sd}}{S} \times f_{syd} \times (1 + \cot \alpha) \times \sin \alpha$ <p>Esta armadura, deverá ser totalmente distribuída na zona de intersecção das duas vigas, que se estenderá ao longo da viga principal, para ambos os lados de uma distância, x, de:</p> $x \geq \begin{cases} \frac{b_2}{2} \\ \frac{h_1}{2} \end{cases}$ <p>Sendo b_2 a largura da viga secundária e h_1 a altura da viga principal</p> | <p>O EC2 diz que, quando uma viga é apoiada por outra viga e não por uma parede ou pilar, deve ser dimensionada uma armadura de modo a resistir à reação mútua. Esta regra aplica-se também a uma laje não apoiada na parte superior de uma viga</p> <p>O $V_{rd,s}$ corresponde à resistência das armaduras de esforço transverso:</p> $V_{rd,s} = \frac{A_{sd}}{S} \times z \times f_{ywd} \times \cot \theta$ <p>Esta armadura, deverá ser constituída por estribos envolvendo a armadura principal do elemento de apoio. A mesma é totalmente distribuída na zona de intersecção das duas vigas, como ilustrado na figura seguinte:</p>  <p>A viga de apoio com altura h_1 B viga apoiada com altura h_2 ($h_1 \geq h_2$)</p> |

Figura 41 – Colocação da armadura de suspensão na zona de intersecção de duas vigas.

3.2.2 – Vigas-Parede

3.2.2.1 – Vigas-Parede segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às vigas no capítulo XI, subcapítulo G. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 128.º - Generalidades

O presente artigo, ostenta os critérios, segundo os quais, uma viga pode ou não ser considerada uma viga-parede.

- Artigo 129.º - Vão teórico. Espessura mínima

O vão teórico a considerar no dimensionamento das vigas-parede é o menor dos seguintes valores: a distância entre eixos dos apoios; o vão livre aumentado de 15%. A espessura das vigas-parede não deve ser inferior a 10 cm.

- Artigo 130.º - Dimensionamento em relação ao momento fletor

Este artigo afirma que, para verificar a segurança das vigas-parede em relação ao momento fletor, basta em geral calcular a secção da armadura principal necessária para resistir aos momentos atuantes de cálculo, os quais são determinados de forma idêntica às vigas de geometria mais usual.

- Artigo 131.º - Dimensionamento em relação ao esforço transversal

A verificação das condições de segurança das vigas-parede em relação ao esforço transversal são tratadas no presente artigo.

- Artigo 132.º - Distribuição da armadura principal

Este artigo indica como devem ser distribuídas as armaduras de flexão em vigas-parede.

- Artigo 133.º - Armadura de alma

Nas vigas-parede deve dispor-se uma armadura de alma constituída, em cada face, por uma malha de varões verticais e horizontais com espaçamento não superior a 30 cm.

- Artigo 134.º - Armadura de suspensão. Apoios indiretos

Nos casos de cargas aplicadas à parte inferior das vigas-parede (cargas suspensas) e de cruzamento de vigas-parede (apoios indiretos), devem dispor-se armaduras de suspensão nas vigas principais, convenientemente distribuídas, amarradas e dimensionadas para absorver a totalidade das cargas suspensas ou das forças de apoio das vigas secundárias.

3.2.2.2 – Vigas-Parede segundo o EC2

O EC2 aborda as disposições construtivas relativas às vigas-parede no capítulo 9, ponto 9.7. No entanto, apenas dedica 3 alíneas a este elemento construtivo, as mesmas estão enumeradas abaixo:

- Ponto 9.7 (1).º - As vigas-parede deverão, nas situações correntes, dispor, junto de cada face, de uma armadura de rede ortogonal com um mínimo de $A_{s,dbmin}$.
- Ponto 9.7 (2).º - Neste ponto é tratada a distância máxima entre dois varões adjacentes da rede.
- Ponto 9.7 (3).º - Neste ponto é abordada a amarração das armaduras. Refere-se ainda que armadura correspondente aos tirantes considerados no cálculo deverá ser totalmente amarrada para equilíbrio do nó, por dobragem dos varões, por laços em U ou por meio de dispositivos de amarração, a não ser que exista um comprimento suficiente entre o nó e a extremidade da viga que possibilite um comprimento de amarração igual a l_{bd} .

3.2.2.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Vigas-Parede

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados e conferindo-se destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das vigas-parede foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas-Parede | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Generalidades | <p>Para que uma viga possa ser considerada uma viga-parede, o REBAP estabelece os critérios mínimos, relacionando o vão teórico e a altura do elemento:</p> <p>1 – Para vigas simplesmente apoiadas:</p> $\frac{l_0}{h} \leq 2.0$ <p>2 – Para vigas contínuas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Vãos extremos: $\frac{l_0}{h} \leq 2.5$ <ul style="list-style-type: none"> Vãos intermédios: $\frac{l_0}{h} \leq 3.0$ <p>3 – Para vigas em consola:</p> $\frac{l_0}{h} \leq 1.0$ | <p>O EC2 remete para o ponto 5.3.1, referente às vigas, o critério de classificação de viga-parede. O EC2 considera que pode designar-se de uma viga-parede quando:</p> $\frac{l}{h} \leq 3.0$ |
| Dimensionamento em relação ao momento fletor | <p>Segundo o REBAP, para os casos correntes, a verificação da segurança das vigas-parede em relação ao momento fletor, basta em geral calcular a secção da armadura principal necessária para resistir aos momentos atuantes de cálculo, os quais podem ser determinados como se tratasse de vigas de geometria usual. A secção total de armadura principal, A_s, pode ser obtida pela expressão:</p> $A_s = \frac{M_{sd}}{f_{syd} \times z}$ | <p>O EC2 para o cálculo de armaduras principais das vigas-parede, recorre ao método de escoras e tirantes, exposto no respetivo regulamento e apresentado mais adiante nesta secção.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas-Parede | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Dimensionamento em relação ao momento fletor (continuação)</p> | <p>O braço de binário das forças interiores (z), assume valores em função do vão da viga e da sua altura total:</p> <p>1 – Para vigas simplesmente apoiadas:</p> $z = \begin{cases} 0.15 \times (l + 3 \times h) \rightarrow \text{quando } 1 < \frac{l}{h} \leq 2 \\ 0.6 \times l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq 1 \end{cases}$ <p>2 – Para vigas contínuas de vãos extremos e apoios de continuidade:</p> $z = \begin{cases} 0.1 \times (2 \times l + 2.5 \times h) \rightarrow \text{quando } 1 < \frac{l}{h} \leq 2.5 \\ 0.45 \times l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq 1 \end{cases}$ <p>3 – Para vigas contínuas de vãos intermédios e apoios não adjacentes aos vãos extremos:</p> $z = \begin{cases} 0.15 \times (l + 2 \times h) \rightarrow \text{quando } 1 < \frac{l}{h} \leq 3 \\ 0.45 \times l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq 1 \end{cases}$ <p>4 – Para vigas em consola:</p> $z = \begin{cases} 0.15 \times (2 \times l + 3 \times h) \rightarrow \text{quando } 0.5 < \frac{l}{h} \leq 1 \\ 1.2 \times l \rightarrow \text{quando } \frac{l}{h} \leq 0.5 \end{cases}$ | <p>O EC2 não distingue um cálculo de armadura díspar para cada condição de apoio como faz o REBAP.</p> |
| <p>Dimensionamento em esforço transverso</p> | <p>A verificação da segurança das vigas-parede em relação ao esforço transverso, considera-se em geral verificada se:</p> $V_{sd} \leq \frac{1}{3} \times \tau_2 \times b \times h$ <p>No caso de apoios diretos, é necessário verificar que o valor de cálculo da reação de apoio não excede os seguintes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apoios extremos: $0.8 \times f_{cd} \times b \times a$ • Apoios intermédios: $1.2 \times f_{cd} \times b \times a$ | <p>O EC2 para o cálculo de armaduras transversais das vigas-parede, recorre ao método de escoras e tirantes, exposto no respetivo regulamento.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas-Parede | | |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Dimensionamento em esforço transversal (continuação) | <p>O REBAP contempla ainda que a verificação anteriormente referida pode ser dispensada quando o elemento de apoio se prolongar por toda a altura da viga-parede e tiver espessura superior à espessura daquela.</p> | <p>O EC2 não distingue um cálculo de armadura díspar para cada condição de apoio como faz o REBAP.</p> |
| Disposição de armadura principal | <p>As armaduras principais em vigas-parede são dispostas numa banda com altura, contada a partir do bordo inferior, altura essa que é calculada da seguinte forma:</p> <p>1 – Momentos positivos:</p> $\begin{cases} 0.25 \times h - 0.05 \times l \rightarrow \text{quando } h \leq l \\ 0.2 \times l \rightarrow \text{quando } h > l \end{cases}$ <p>2 – Momentos negativos:</p> $\begin{cases} \text{entre } 0.2 \times h \text{ e } 0.8 \times h \rightarrow \text{quando } l > h \\ 0.6 \times l \text{ a partir de } 0.2 \times l \rightarrow \text{quando } l \leq h \end{cases}$ <p>Relativamente à distribuição longitudinal destas armaduras, metade da armadura exigida sobre o apoio deve ser estendida a toda a extensão dos vãos adjacentes, sendo que a outra metade pode ser interrompida a uma distância de face do apoio igual à menor das seguintes:</p> $\begin{cases} 0.4 \times h \\ 0.4 \times l \end{cases}$ <p>No caso de vigas-parede em consola, a armadura principal deve ter secção constante ao longo do vão e ser distribuída numa banda horizontal cujo limite se situa a distância de $0.8 \times l$ do bordo inferior da viga e cuja altura é igual a:</p> $\begin{cases} h - 0.8 \times l \rightarrow \text{se } 0.5 < \frac{l}{h} \leq 1 \\ 1.2 \times l \rightarrow \text{se } \frac{l}{h} \leq 0.5 \end{cases}$ | <p>O EC2 apenas apresenta normas relativamente à disposição da armadura de rede ortogonal, disposta, junto, de cada face da viga.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Vigas-Parede | | |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Armadura de alma | <p>Nas vigas-parede, a armadura de alma colocada em cada fase, é constituída por uma malha de varões verticais e horizontais com espaçamento máximo de 30 cm.</p> <p>As taxas mínimas de armadura são:</p> $\rho \geq \begin{cases} 0.1\% \rightarrow A235 \\ 0.05\% \rightarrow A400 \text{ ou } A500 \end{cases}$ <p>Nas zonas dos apoios, as armaduras de alma devem ser reforçadas, tanto vertical como horizontalmente, intercalando varões suplementares na armadura corrente.</p> | <p>O EC2 defende que as vigas-parede devem, dispor, junto de cada face, de uma armadura de rede ortogonal de armaduras com um mínimo de $A_{s,dbmín}$.</p> <p>O valor recomendado para $A_{s,dbmín}$ é de:</p> $A_{s,dbmín} = 0.1\% \times A_c$ $A_{s,dbmín} \geq 150 \text{ mm}^2 / m$ <p>Segundo o regulamento, a distância entre dois varões adjacentes da rede não deverá ser superior ao menor dos valores:</p> $\begin{cases} 2 \times \text{espessura da viga} \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$ |

3.2.3 – Pilares

3.2.3.1 – Pilares segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às vigas no capítulo XI, subcapítulo E. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 120.º - Dimensões mínimas

O presente artigo, ostenta os critérios, segundo os quais, uma viga pode ou não ser considerada uma viga-parede.

- Artigo 121.º - Armadura longitudinal

Para além das áreas mínimas e máximas de armadura longitudinal a considerar, o presente artigo defende que, a armadura longitudinal deve compreender, no mínimo, 1 varão junto de cada ângulo da secção (saliente ou reentrante) e 6 varões no caso de secções circulares ou a tal assimiláveis. O diâmetro mínimo destes varões será de 12 mm, para o aço A235, e de 10 mm, para os aços A400 ou A500.

- Artigo 122.º - Armadura transversal

Os pilares devem possuir armadura transversal destinada a cintar o betão e impedir a encurvadura dos varões da armadura longitudinal.

3.2.3.2 – Pilares segundo o EC2

O EC2 trata as disposições construtivas relativas aos pilares no capítulo 9, ponto 9.5. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 9.5 (1).º - Generalidades

O primeiro ponto define um critério para se considerar um elemento como um pilar, o mesmo afirma que, trata-se de um pilar quando, transversalmente a maior dimensão h não é superior a 4 vezes da menor b .

- Ponto 9.5 (2).º - Armaduras longitudinais

Neste ponto é tratada a área mínima e máxima de aço a conter num pilar, para além disso, é defendido que nos pilares com secção transversal poligonal deverá colocar-se pelo menos um varão em cada ângulo. O número de varões longitudinais num pilar circular não deverá ser inferior a 4.

Em forma de nota, é ainda referido que os varões a usar nas armaduras longitudinais têm de possuir um mínimo de 8 mm de diâmetro, dando no entanto a hipótese de cada país optar por um valor diferente, que deve constar no anexo nacional.

- Ponto 9.7 (3).º - Armaduras transversais

Os diâmetros mínimos dos varões das cintas e os espaçamentos entre estas estão regulamentadas neste ponto.

As armaduras transversais deverão ser convenientemente amarradas.

3.2.3.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Pilares

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas dos pilares foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Pilares | | |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Dimensões mínimas (b e h) | <p>A dimensão mínima da secção transversal dos pilares não deve ser inferior a:</p> $\begin{cases} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 20 \text{ cm} \end{cases}$ <p>Em secções em T ou L a menor dimensão pode ir até aos 15 cm.</p> <p>Nas secções ocas a espessura mínima das paredes não deve ser inferior a 10 cm.</p> <p>Em qualquer um dos casos, e de acordo com o artigo 64.º do REBAP, a esbelteza não deve exceder 140.</p> | <p>A diferença entre b e h da secção transversal não pode ser mais do que 4 vezes, ou seja:</p> $h \leq 4 \times b$ |
| Armaduras longitudinais máximas e mínimas | <p>A área de armadura longitudinal dos pilares não deve ser inferior a:</p> $A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0.8\% \times A_c \rightarrow A235 \\ 0.6\% \times A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ <p>Em condições onde o betão é por si só resistente, então:</p> $A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0.4\% \times A_c \rightarrow A235 \\ 0.3\% \times A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ <p>A área máxima de aço presente num pilar não deve exceder:</p> $A_{sl,máx} \leq 0.08 \times A_c$ | <p>A área total de armadura longitudinal não deverá ser inferior a:</p> $A_{sl,min} \geq \begin{cases} 0.10 \times \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \\ 0.002 \times A_c \end{cases}$ <p>A área total de armadura longitudinal não deverá ser inferior a:</p> $A_{sl,máx} \leq \begin{cases} 4\% \times A_c \rightarrow \text{Zonas correntes} \\ 8\% \times A_c \rightarrow \text{Zonas de emenda} \end{cases}$ |
| Espaçamentos máximos e diâmetros mínimos de armaduras longitudinais | <p>A armadura longitudinal deve compreender, no mínimo, 1 varão junto a cada ângulo da secção (saliente ou reentrante) e 6 varões no caso de secções circulares.</p> | <p>Pelo menos um varão em cada ângulo da secção, seja saliente ou reentrante, mínimo de 4 varões no caso de secções circulares.</p> <p>O diâmetro mínimo para estas armaduras segundo o anexo nacional do EC2 é de:</p> $\phi_{min} \geq 10 \text{ mm}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Pilares | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espaçamentos máximos e diâmetros mínimos de armaduras longitudinais (continuação) | <p>O diâmetro mínimo destes varões será de:</p> $\begin{cases} \phi_{min} \geq 12 \text{ mm} \rightarrow A235 \\ \phi_{min} \geq 10 \text{ mm} \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ <p>O espaçamento dos varões da armadura longitudinal não deve exceder os:</p> $s_l \leq 30 \text{ cm}$ <p>Porem em secções retangulares em que as suas dimensões sejam inferiores a 40 cm, poderão coloca-se apenas varões nos cantos.</p> | <p>O espaçamento dos varões da armadura longitudinal não deve exceder os:</p> $s_l \leq 30 \text{ cm}$ <p>Porem em secções retangulares em que as suas dimensões sejam inferiores a 40 cm, poderão coloca-se apenas varões nos cantos</p> |
| Armaduras transversal | <p>O diâmetro mínimo dos varões das cintas (armaduras transversais) variam consoante o diâmetro dos varões da armadura longitudinal, em que:</p> $\begin{cases} \text{Se } \phi_{Asl} < 25 \text{ mm} \rightarrow \phi_{Ast} \geq 6 \text{ mm} \\ \text{Se } \phi_{Asl} \geq 25 \text{ mm} \rightarrow \phi_{Ast} \geq 8 \text{ mm} \end{cases}$ | <p>O diâmetro das armaduras transversais não deverá ser inferior a:</p> $\phi_{Ast} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ \frac{1}{4} \times \phi_{Asl} \end{cases}$ |
| Espaçamentos das armaduras transversais | <p>O espaçamento dos varões da armadura transversal não deve exceder o menor dos seguintes valores:</p> $s_t \leq \begin{cases} 12 \times \phi_{Asl \text{ min}} \\ \text{menor dimensão do pilar} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$ | <p>O espaçamento dos varões da armadura transversal para o territorio nacional está apresentado nos anexos do EC2, e não deve exceder o menor dos seguintes valores:</p> $s_t \leq \begin{cases} 15 \times \phi_{Asl \text{ min}} \\ \text{menor dimensão do pilar} \\ 300 \text{ mm} \end{cases}$ <p>Estes espaçamentos deveram ser reduzidos por um fator igual a 0.6 para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Secções localizadas a uma distância não superior à maior dimensão do pilar acima ou abaixo de uma viga ou laje. • Zonas de emendas por sobreposição se $\phi_{Asl} \geq 14 \text{ mm}$. São necessarios no minimo, 3 varões transversais igualmente espaçados no comprimento de sobreposição. |

3.2.4 – Efeitos de segunda ordem

3.2.4.1 – Efeitos de segunda ordem segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às vigas no capítulo VIII, subcapítulo A e subcapítulo B. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 58.º - Estruturas de nós fixos e estruturas de nós móveis

O presente artigo, trata o cálculo da estrutura relativamente à sua mobilidade, podendo ser de nós fixos ou de nós móveis, para os quais os efeitos de 2.ª ordem não podem ser desprezados.

- Artigo 59.º - Esbelteza dos pilares. Comprimento efetivo de encurvadura

Este artigo trata o cálculo da esbelteza do pilar de secção constante, para uma dada direção, assim como o comprimento efetivo de encurvadura.

- Artigo 61.º - Critérios de verificação de segurança em pilares

A verificação da segurança dos pilares relativamente à encurvadura pode em geral ser reduzida à verificação de estados limites últimos de resistência por flexão com compressão em certas seções críticas do pilar.

- Artigo 62.º - Momentos atuantes nas seções críticas

Este artigo aborda o cálculo dos momentos atuantes no pilar, distinguindo as estruturas de nós fixos e de nós móveis.

- Artigo 63.º - Excentricidades adicionais

As excentricidades adicionais e_a , e_2 e e_c , designadas respetivamente, excentricidade accidental, excentricidade de 2.ª ordem e excentricidade de fluência, são tratadas no presente artigo.

- Artigo 64.º - Limites de esbelteza

Os pilares não devem, em caso algum, ter esbelteza (λ) superior a 140.

3.2.4.2 – Efeitos de segunda ordem segundo o EC2

O EC2 trata os efeitos de segunda ordem no capítulo 5, ponto 5.8. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 5.8.3.1.º - Critério de esbelteza para elementos isolados

O primeiro ponto define a esbelteza a verificar em elementos isolados, de forma a ignorar os efeitos de segunda ordem.

- Ponto 5.8.3.2.º - Esbelteza e comprimento efetivo de elementos isolados

Este ponto trata o cálculo do coeficiente de esbelteza do pilar, para uma dada direção, assim como o comprimento efetivo de encurvadura.

- Ponto 5.8.3.3.º - Efeitos globais de segunda ordem em edifícios

O presente ponto define o critério a verificar em estruturas, em alternativa ao critério indicado no ponto 5.8.2 (6), onde os efeitos globais de segunda ordem em edifícios poderão ser ignorados.

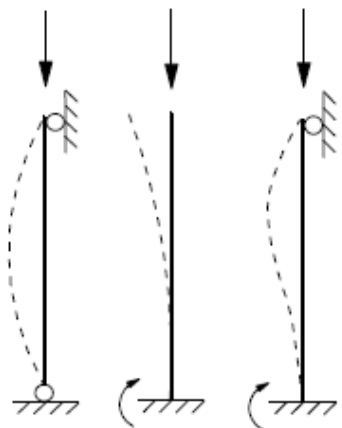
- Ponto 5.8.8.º - Método baseado numa curvatura nominal

Trata o método adequado para análise a elementos isolados sujeitos a uma força normal constante e com um comprimento efetivo definido. O método fornece um momento nominal de segunda ordem baseado num deslocamento, o qual, por sua vez, se baseia no comprimento efetivo e numa curvatura máxima estimada.

3.2.4.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Efeitos de segunda ordem

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem | | |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Mobilidade da estrutura | <p>O REBAP considera como estruturas de nós fixos aquelas cujos nós, sob efeito dos valores de cálculo das ações, sofrem deslocamentos horizontais desprezáveis, na prática uma estrutura é de nós fixos quando:</p> $h_{tot} \times \sqrt{\frac{\Sigma N}{\Sigma E \times I}} \leq \eta$ <p>É necessário também que os elementos de contraventamento sejam dispostos de modo a garantir suficiente rigidez de torção ao conjunto da estrutura.</p> | <p>O EC2 propõe duas verificações relativamente à consideração dos efeitos de segunda ordem no cálculo, sendo estes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Os efeitos de segunda ordem podem ser ignorados se representarem menos de 10% dos efeitos de primeira ordem correspondentes. Em alternativa, os efeitos globais de segunda ordem podem ser ignorados se: $F_{V,Ed} \leq k_1 \times \frac{n_s}{n_s + 1.6} \times \frac{\Sigma E_{cd} \times I_c}{L^2}$ |
| Esbelteza e comprimento efetivo dos pilares | <p>A esbelteza, λ, de um pilar de secção constante é definida, para uma dada direção, pela expressão:</p> $\lambda = \frac{l_0}{i}$ <p>Em que:</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad e \quad l_0 = \eta \times l$ <p>O fator η depende das condições de ligação das suas extremidades e pode considerar-se um dos seguintes valores:</p> <p>1 – Para estruturas de nós fixos:</p> $\eta \leq \begin{cases} 0.7 + 0.05 \times (\alpha_1 + \alpha_2) \\ 0.85 + 0.05 \times \alpha_{min} \\ 1 \end{cases}$ <p>2 – Para estruturas de nós móveis:</p> $\eta \leq \begin{cases} 1 + 0.15 \times (\alpha_1 + \alpha_2) \\ 2 + 0.3 \times \alpha_{min} \end{cases}$ | <p>A esbelteza, λ, de um pilar é definida, para uma dada direção, pela expressão:</p> $\lambda = \frac{l_0}{i}$ <p>Em que:</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ <p>O EC 2 permite obter de um modo simplificado os valores dos comprimentos efetivos, l_0, para diferentes casos de estudo.</p> <p>Para pilares isolados de secção transversal constante o l_0 depende dos apoios de extremidade, na ilustração apresentada na página seguinte estão representados alguns exemplos:</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Esbelteza e comprimento efetivo dos pilares</p> <p>(continuação)</p> | |  <p>a) $l_0 = l$ b) $l_0 = 2l$ c) $l_0 = 0,7l$</p> <p><i>Figura 42 – Representação de diferentes modos de encurvadura e correspondentes comprimentos efetivos.</i></p> <p>Para pilares comprimidos de pórticos regulares, o critério de esbelteza deverá ser verificado com um comprimento efetivo l_0 determinado da seguinte forma:</p> <p>1 – Pilares contraventados:</p> $l_0 = 0,5 \times l \times \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right)}$ <p>2 – Pilares não contraventados:</p> $l_0 = l \times \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\left(1 + 10 \times \frac{k_1 \times k_2}{k_1 + k_2}\right)} \\ \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \end{array} \right.$ <p>Para pilares que não correspondam aos casos anteriormente apresentados, por exemplo, elementos em que é variável o esforço normal e/ou secção transversal, o cálculo do comprimento efetivo com a expressão:</p> $l_0 = \pi \times \sqrt{\frac{E \times I}{N_B}}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem | | |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Verificação da segurança dos pilares | <p>Para a verificação da segurança dos pilares, começa-se por calcular os momentos atuantes nas secções críticas, estes variam conforme a mobilidade da estrutura em estudo.</p> <p>Nos pilares pertencentes a estruturas de nós móveis, condiera-se que as secções críticas se localizam junto das extremidades dos pilares, sendo, portanto, em relação aos valores de cálculo dos momentos flectores M_{sd}, aí atuantes, que deve proceder-se à verificação da segurança.</p> <p>Nos pilares pertencentes a estruturas de nós fixos, a secção crítica não se localiza, em geral, junto das extremidades dos pilares (mas antes numa zona intermedia), logo para o cálculo do momento o REBAP propõe que se considere o maior dos seguintes valores:</p> $M_{sd} \geq \begin{cases} 0.6 \times M_{sd,a} + 0.4 \times M_{sd,b} \\ 0.4 \times M_{sd,a} \end{cases}$ <p>Em que $M_{sd,a}$ e $M_{sd,b}$ são os valores dos momentos atuantes nas extremidades, supondo-se $M_{sd,a} \geq M_{sd,b}$.</p> <p>Ao momento obtido é necessário acrescentar o originado pelo efeito de segunda ordem, na secção crítica e na direção em causa é acrescido do momento definido pela expressão:</p> $N_{sd} \times (e_a + e_2 + e_c)$ <p>Sendo N_{sd} o esforço normal atuante e os restantes correspondem a excentricidades adicionais.</p> <p>O momento total resulta do somatório entre os momentos de primeira e de segunda ordem, para ambas as direções:</p> $M'_{sd} = M_{sd} + N_{sd} \times (e_a + e_2 + e_c)$ | <p>Há dois critérios propostos pelo EC2 que permitem ignorar os efeitos de segunda ordem na verificação da segurança dos pilares, sendo estes:</p> <p>1- Se os efeitos de segunda ordem representarem menos de 10% dos efeitos de primeira ordem correspondentes.</p> <p>2- Se a esbelteza (λ) for inferior a:</p> $\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{n}}$ <p>Para a verificação da segurança dos pilares, é recomendável utilizar o método baseado numa curvatura nominal, apresentado no ponto 5.8.8 do EC2.</p> <p>Para o cálculo do momento de cálculo, soma-se o momento de primeira ordem (incluindo o efeito de imperfeições) e o momento nominal de segunda ordem.</p> $M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$ $M_{Ed} = M_{0Ed} + N_{Ed} \times e_2$ <p>O EC2 prevê ainda que, para elementos sem cargas aplicadas entre as suas extremidades, os momentos de primeira ordem, M_{01} e M_{02}, poderão ser substituídos por um momento de extremidade de primeira ordem equivalente, M_{0e}:</p> $M_{0e} \geq \begin{cases} 0.6 \times M_{02} + 0.4 \times M_{01} \\ 0.4 \times M_{02} \end{cases}$ <p>M_{01} e M_{02} deverão ter o mesmo sinal se produzirem tração na mesma face, em caso contrário, deverão ter sinais opostos. Além disso, $M_{02} \geq M_{01}$.</p> <p>O momento nominal de segunda ordem, calcula-se com a seguinte expressão:</p> $M_2 = N_{Ed} \times e_2$ <p>Em que:</p> $e_2 = \frac{1}{r} \times \frac{l_0^2}{c}$ <p>Nota: c depende da distribuição da curvatura total, no caso de uma secção transversal constante, utiliza-se normalmente $c = 10 (\approx \pi^2)$.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|---|---|---|-----|---|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | |
| Verificação da segurança dos pilares (continuação) | <p>As excentricidades adicionais, utilizadas no cálculo do momento de segunda ordem, são calculadas pelas seguintes expressões:</p> $e_a = \frac{l_0}{300} \geq 2 \text{ cm}$ $e_2 = \frac{1 \times l_0^2}{r \times 10}$ $e_c = \left(\frac{M_{Sg}}{N_{Sg}} \right) + e_a \left[\exp \left(\frac{\varphi_c(t_\infty, t_0) \times N_{Sg}}{N_{Sg} \times 10} \right) - 1 \right]$ <p>A verificação de segurança, após o cálculo do momento total, de um modo simplificado, pode ser efetuada admitindo uma interação linear expressa por:</p> $\frac{M'_{sd,x}}{M_{Rd,x0}} + \frac{M'_{sd,y}}{M_{Rd,y0}} \leq 1$ <p>A verificação de segurança pode ser dispensada nos casos em que se verifique uma das seguintes condições:</p> <p>1 – Relacionando os momentos fletores e esforços normais atuantes:</p> $\frac{M_{sd}}{N_{sd}} \geq 3.5 \times h \text{ para } \lambda \leq 70$ $\frac{M_{sd}}{N_{sd}} \geq 3.5 \times h \times \frac{\lambda}{70} \text{ para } \lambda > 70$ <p>2 – Considera-se também dispensada a verificação se:</p> <ul style="list-style-type: none"> Para nós móveis: $\lambda \leq 35$ Para nós fixos: $\lambda \leq 50 - 15 \times \frac{M_{sd,b}}{M_{sd,a}}$ | <p>1/r está relacionado com a curvatura, no caso de elementos de secção transversal constante e simétrica (incluindo as armaduras), poderá adotar-se:</p> $\frac{1}{r} = K_f \times K_\varphi \times \frac{1}{r_0}$ <p>Sendo:</p> $K_f = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1$ $K_\varphi = 1 + \beta \times \varphi_{ef} \geq 1$ $\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \times d}$ <p>Para a verificação de segurança, deverá incluir os efeitos de segunda ordem (a não ser que possam ser ignorados de acordo com as opções apresentadas), na ausência de um cálculo rigoroso da secção transversal em relação à flexão desviada, poderá utilizar-se o seguinte critério simplificado:</p> $\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1$ <p>Sendo o expoente (a):</p> <p>a = 2, para secções circulares e elípticas; para secções retangulares:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N_{Ed}/N_{Rd}</th> <th>0.1</th> <th>0.7</th> <th>1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>1</td> <td>1.5</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 5 – Valores para o expoente “a”</i></p> <p>A verificação de segurança pode ser dispensada, no caso de flexão desviada se:</p> <p>1 – Se os coeficientes de esbelteza satisfizerem as duas condições seguintes:</p> $\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2 \text{ e } \frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2$ <p>2 – As excentricidades relativas e_y/h_{eq} e e_z/b_{eq} satisfizerem uma das condições seguintes:</p> $\left(\frac{e_y}{h_{eq}} \right) \leq 0.2 \text{ Ou } \left(\frac{e_z}{b_{eq}} \right) \leq 0.2$ | N _{Ed} /N _{Rd} | 0.1 | 0.7 | 1 | a | 1 | 1.5 | 2 |
| | N _{Ed} /N _{Rd} | 0.1 | 0.7 | 1 | | | | | | |
| a | 1 | 1.5 | 2 | | | | | | | |

3.2.5 – Paredes

3.2.5.1 – Paredes segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às paredes no capítulo XI, subcapítulo F. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 123.º - Generalidades

O presente artigo, ostenta os critérios, segundo os quais, um elemento pode ou não ser considerado como uma parede.

- Artigo 124.º - Espessura mínima

Este artigo contém a espessura e esbelteza mínima de uma parede.

- Artigo 125.º - Armadura vertical

Este artigo trata a armadura vertical máxima e mínima a dispor na parede, assim como os respetivos espaçamentos.

- Artigo 126.º - Armadura horizontal

As paredes devem dispor de armadura horizontais colocadas junto de ambas as faces, exteriormente a armadura vertical. Esta também regulamentada a armadura horizontal máxima a dispor na parede, assim como os respetivos espaçamentos.

- Artigo 127.º - Armadura de cintagem

Quando a secção total da armadura vertical exceder 2% da secção da parede, esta armadura deve ser convenientemente cintada.

3.2.5.2 – Paredes segundo o EC2

O EC2 trata o dimensionamento de paredes no capítulo 9, ponto 9.6. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 9.6.1.º - Generalidades

O primeiro ponto, ostenta os critérios, segundo os quais, um elemento pode ou não ser considerado como uma parede. O mesmo ponto afirma que, a quantidade de armadura e as correspondentes disposições construtivas poderão ser obtidas a partir de um modelo de escoras e tirantes. Nos casos de paredes sujeitas predominantemente à flexão transversal ao seu plano, aplicam-se as regras relativas a lajes.

- Ponto 9.6.2.º - Armaduras verticais

Este ponto trata a armadura vertical máxima e mínima a dispor na parede, assim como os respetivos espaçamentos.

- Ponto 9.6.3.º - Armaduras horizontais

Nas paredes deverão dispor-se armaduras horizontais, paralelas aos parâmetros da parede e aos bordos livres, em cada face. Está também regulamentada a armadura horizontal mínima a dispor na parede, assim como os respetivos espaçamentos.

- Ponto 9.6.4.º - Armaduras transversais

Em qualquer parte de uma parede onde a área total da armadura vertical nas duas faces é superior a 2% da área da secção de betão, deverão dispor-se armaduras transversais, sob a forma de estribos ou ganchos, de acordo com os requisitos relativos aos pilares.

3.2.5.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Paredes

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das paredes foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Paredes | | |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espessura mínima | <p>Para ser considerada parede de betão armado, tem que cumprir o seguinte requisito:</p> $b \geq 5 \times e$ <p>A espessura e esbelteza das paredes devem cumprir os seguintes critérios:</p> $e \geq 10 \text{ cm}$ $\lambda \leq 120$ | <p>Para ser considerada parede de betão armado, tem que cumprir o seguinte requisito:</p> $h \geq 4 \times b$ |
| Armadura vertical | <p>A secção total da armadura vertical das paredes não deve ser inferior a:</p> $A_{sv,min} \geq \begin{cases} 0.4\% \times A_c \rightarrow A235 \\ 0.3\% \times A_c \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ <p>Tendo como limite máximo:</p> $A_{sv,max} \leq 4\% \times A_c$ | <p>A secção total da armadura vertical das paredes não deve ser inferior a:</p> $A_{sv,min} \geq 0.002 \times A_c$ <p>Tendo como limite máximo:</p> $A_{sv,max} \leq \begin{cases} 0.04 \times A_c \rightarrow \text{Zonas correntes} \\ 2 \times 0.04 \times A_c \rightarrow \text{Zonas emenda} \end{cases}$ |
| Espaçamentos e disposição da armadura vertical | <p>Os varões da armadura vertical devem ser distribuídos pelas duas faces da parede com espaçamento não superior a:</p> $s \leq \begin{cases} 2 \times e \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$ | <p>A distância entre dois varões adjacentes deve cumprir a seguinte regra:</p> $s \leq \begin{cases} 3 \times e \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$ |
| Armadura horizontal | <p>A secção total da armadura horizontal das paredes não deve ser inferior a:</p> $A_{sh,min} \geq \begin{cases} 0.001 \times b \times a \rightarrow A235 \\ 0.0005 \times b \times a \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ | <p>A secção total da armadura horizontal das paredes não deve ser inferior a:</p> $A_{sh,min} \geq \begin{cases} 0.001 \times A_c \\ 25\% \times A_{sv} \end{cases}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Paredes | | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espaçamentos da armadura horizontal | Os varões de armadura horizontal não devem ser espaçados a mais de: $s \leq 30 \text{ cm}$ | Os varões de armadura horizontal não devem ser espaçados a mais de: $s \leq 40 \text{ cm}$ |
| Armadura de cintagem | Quando a secção total da armadura vertical exceder 2% da secção da parede, esta armadura deve ser convenientemente cintada de acordo com o estabelecido para os pilares, com exceção das condições relativas ao espaçamento das armaduras, o qual não deve exceder o menor dos seguintes valores: $s \leq \begin{cases} 16 \times \phi_v \\ 2 \times b \\ 30 \text{ cm} \end{cases}$ | Em qualquer parte de uma parede onde a área total da armadura vertical nas duas faces é superior a 2% da secção da parede, deverão dispor-se armaduras transversais, sob a forma de estribos ou ganchos, de acordo com os requisitos relativos aos pilares. No caso da armadura principal colocada mais próxima das faces da parede, deverá utilizar-se também uma armadura transversal constituída pelo menos por 4 estribos por m ² de área de parede. |

3.2.6 – Lajes maciças

3.2.6.1 – Lajes maciças segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às lajes maciças no capítulo XI, subcapítulo B. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 100.º - Generalidades

O presente artigo, ostenta os critérios, segundo os quais, um elemento pode ou não ser considerado como uma laje maciça, assim como a abrangência do presente regulamento dentro das lajes maciças.

- Artigo 101.º - Vão teórico

O vão teórico a considerar no dimensionamento de lajes deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados para as vigas.

- Artigo 102.º - Espessura mínima

Este artigo apresenta os critérios de espessura mínima em lajes para diversos casos correntes.

- Artigo 103.º - Laje armada numa só direção sujeita a cargas concentradas

Dispensando uma análise mais rigorosa, os momentos fletores e esforços transversos devido a cargas concentradas podem ser calculados assimilando a laje a uma viga com os mesmos vãos.

- Artigo 104.º - Armadura principal mínima

A percentagem de armadura principal das lajes não deve ser inferior aos valores mínimos indicados no artigo correspondente a armadura longitudinal nas vigas.

- Artigo 105.º - Espaçamento máximo dos varões de armadura principal

O presente artigo trata os espaçamentos máximos entre varões adjacentes da armadura principal admitidos em lajes maciças.

- **Artigo 106.º - Interrupção da armadura principal. Armadura nos apoios**
Este artigo afirma que, os critérios a respeitar para a interrupção das armaduras principais das lajes maciças e para o prolongamento de armaduras até aos apoios e sua amarração são idênticos aos estipulados para as vigas.

- **Artigo 107.º - Armadura de esforço transverso**
A percentagem de armadura de esforço transverso das lajes não deve ser inferior aos valores mínimos indicados no artigo correspondente a armadura transversal nas vigas.

- **Artigo 108.º - Armadura de distribuição das lajes armadas numa só direção**
Nas lajes maciças armadas numa só direção devem ser colocadas armaduras de distribuição adequadas.
Nas face da laje oposta à aplicação das cargas, tal armadura deve ser disposta transversalmente ao vão.
Na face de aplicação das cargas, caso exista armadura principal, deve dispor-se ainda uma armadura de distribuição, colocada transversalmente àquela.

- **Artigo 109.º - Armadura nos bordos livres**
O presente artigo trata a armadura a dispor na laje junto ao longo dos bordos livres.

- **Artigo 110.º - Armaduras de punçoamento**
Este artigo apresenta os critérios de disposição das armaduras de punçoamento tanto para estribos como para varões inclinados.

- **Artigo 111.º - Armadura das lajes armadas numa só direção sujeita a cargas concentradas**
Nas lajes armadas numa só direção, sujeitas a cargas concentradas, toda a armadura principal respeitante a estas cargas, quando determinada de acordo com o artigo 103.º, deve ser disposta numa faixa de largura igual a $0.5 \times b_m$.
Deve dispor-se também, a menos de uma determinação mais rigorosa, uma armadura distribuída transversalmente à anterior, totalizando a sua secção 60% da secção da armadura principal de flexão respeitante á carga na zona em que esta atua.

3.2.6.2 – Lajes maciças segundo o EC2

O EC2 trata o dimensionamento de lajes maciças no capítulo 9, ponto 9.3. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 9.3.1.º - Armaduras de flexão
 - Ponto 9.3.1.1.º - Generalidades

O presente ponto trata as armaduras principais, o mesmo refere que, o cálculo das áreas mínimas e máximas de armaduras é realizado com se tratasse de vigas com 1m de base.

Para as lajes armadas numa só direção, deverão utilizar-se armaduras transversais de distribuição correspondentes a pelo menos 20% da armadura principal.
 - Ponto 9.3.1.2.º - Armaduras das lajes junto dos apoios

Nas lajes simplesmente apoiadas, metade da armadura calculada para o vão deverá ser prolongada até ao apoio e aí ser amarrada.

Caso haja encastramento parcial ao longo de um dos bordos da laje, a armadura superior deverá ser capaz de resistir a pelo menos 25% do momento máximo no vão adjacente.
 - Ponto 9.3.1.3.º - Armaduras de canto

Este ponto defende apenas que, se as disposições construtivas num apoio forem tais que o levantamento de um canto da laje seja impedido, deverão dispor-se armaduras adequadas.
 - Ponto 9.3.1.4.º - Armaduras nos bordos livres

O presente ponto trata a disposição das armaduras nos bordos livres.
- Ponto 9.3.2.º - Armaduras de esforço transversal

O presente ponto apresenta diversas regras na utilização da armadura de esforço transversal em lajes maciças.

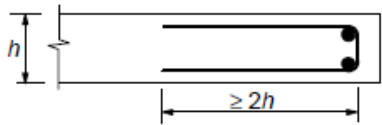
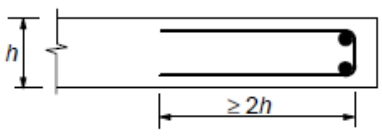
3.2.6.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes maciças

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das lajes-maciças foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes maciças | | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Vão teórico | <p>O vão teórico a considerar no dimensionamento de lajes maciças deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados no art. 87.º correspondente às vigas.</p> | <p>O vão efetivo a considerar no dimensionamento de lajes deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados no porto 5.3.2.2 do respetivo regulamento.</p> |
| Espessura mínima | <p>Para ser considerada uma laje maciça, tem que cumprir o seguinte requisito:</p> $b \geq 5 \times e$ <p>A espessura das lajes maciças não deve ser inferior aos seguintes valores:</p> $h \geq \begin{cases} 5 \text{ cm} \rightarrow \text{terraços não acessíveis} \\ 7 \text{ cm} \rightarrow \text{cargas distribuídas} \\ 10 \text{ cm} \rightarrow \text{cargas concentradas} \\ 12 \text{ cm} \rightarrow \text{cargas concentradas elev.} \\ 15 \text{ cm} \rightarrow \text{lajes fungiformes} \end{cases}$ <p>A espessura das lajes, além dos condicionamentos relativos à deformação, deve satisfazer as condições indicadas nas alíneas seguintes:</p> <p>a) Em geral:</p> $\frac{l_i}{h} \leq 30 \times \eta$ <p>b) No caso de lajes cuja deformação afete paredes divisórias:</p> $\frac{l_i}{h} \leq \frac{180}{l_i} \times \eta$ | <p>Uma laje é um elemento cuja dimensão mínima no seu plano não é inferior a ::</p> $l \geq 5 \times e$ <p>O valor limite da relação vão/altura para vigas e lajes maciças poderá ser obtido pelas seguintes expressões:</p> <p>1 – Se $\rho \leq \rho_0$:</p> $\frac{l}{d} = K \times \left[11 + 1.5 \times \sqrt{f_{ck}} \times \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \times \sqrt{f_{ck}} \times \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$ <p>2 – Se $\rho > \rho_0$:</p> $\frac{l}{d} = K \times \left[11 + 1.5 \times \sqrt{f_{ck}} \times \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \times \sqrt{f_{ck}} \times \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right]$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes maciças | | |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Armadura principal | <p>O procedimento de cálculo é idêntico para o caso das vigas, diferenciando apenas a base do elemento que deve ser sempre 1, pois calcula a armadura a dispor na laje por metro.</p> <p>Para o cálculo da armadura mínima, assumindo:</p> $\rho = \frac{A_{s,min}}{l_0 \times d} \times 100$ $\rho \geq \begin{cases} 0.25 \rightarrow A235 \\ 0.15 \rightarrow A400 \\ 0.12 \rightarrow A500 \end{cases}$ <p>Para o cálculo da armadura máxima:</p> $A_{s,max} = 0.04 \times A_c$ | <p>O procedimento de cálculo é idêntico para o caso das vigas, diferenciando apenas a base do elemento que deve ser sempre 1, pois calcula a armadura a dispor na laje por metro.</p> <p>Para o cálculo da armadura mínima:</p> $A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d$ $A_{s,min} \geq 0.0013 \times b_t \times d$ <p>Para controlo de fendilhação é necessária uma quantidade mínima de armaduras aderentes:</p> $A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d$ <p>Para o cálculo da armadura máxima:</p> $A_{s,max} = 0.04 \times A_c$ |
| Espaçamento dos varões da armadura principal | <p>No caso de armaduras ordinárias, o espaçamento dos varões da armadura principal não deve ser superior a:</p> $s_{l,máx} \leq \begin{cases} 1.5 \times h \\ 35 \text{ cm} \end{cases}$ <p>O espaçamento máximo não deve também, nos casos correntes, exceder valores duplos dos indicados no art.91.º relativo às vigas.</p> | <p>Para os casos correntes, o espaçamento da armadura principal máximo é :</p> $s_{l,máx} \leq \begin{cases} 3 \times h \\ 40 \text{ cm} \end{cases}$ <p>Para zonas de cargas concentradas ou de momento máximo:</p> $s_{l,máx} \leq \begin{cases} 2 \times h \\ 25 \text{ cm} \end{cases}$ |
| Armadura de esforço transversal | <p>Os critérios a respeitar para o cálculo da armadura de esforço transversal das lajes maciças são idênticos aos estipulados para as vigas.</p> | <p>O EC2 defende que uma laje com armadura de esforço transversal deverá ter uma espessura de pelo menos 20 cm.</p> <p>Para o cálculo das armaduras de esforço transversal aplica-se as regras estabelecidas para as mesmas armaduras nas vigas, excepto no caso de $V_{ED} \leq 1/3 \times V_{RD,max}$. Nesta situação a armadura poderá ser constituída exclusivamente por varões inclinados ou por cintas, estribos ou ganchos.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes maciças | | |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espaçamentos da armadura de esforço transversal | <p>As distâncias entre os varões da armadura de esforço transversal devem, no máximo, ser as seguintes:</p> <p>1 – Na direção do vão:</p> $s_{t,máx} \leq \begin{cases} 1.2 \times d \rightarrow \text{Varões inclinados} \\ 0.6 \times d \rightarrow \text{Estribos verticais} \end{cases}$ <p>2 – Na direção transversal ao vão:</p> $s_{t,máx} \leq \begin{cases} 1.5 \times d \rightarrow \text{Varões inclinados} \\ 60 \text{ cm} \rightarrow \text{Estribos verticais} \end{cases}$ | <p>As distâncias entre os varões da armadura de esforço transversal devem, no máximo, ser as seguintes:</p> <p>1 – Os espaçamento longitudinal máximo de cintas, estribos ou ganchos é obtido por:</p> $s_{l,max} = 0.75 \times d \times (1 + \cot \alpha)$ <p>2 – Os espaçamento longitudinal máximo dos varões inclinados é obtido por:</p> $s_{l,max} = d$ <p>3 – Os espaçamento transversal máximo dos varões não deverá ser superior a:</p> $s_{t,max} = 1.5 \times d$ |
| Armadura em bordos encastrados | <p>No caso de existirem apoios de encastramento ou de continuidade, paralelos à armadura principal da laje, deve-se dispor sobre esses apoios uma armadura adequada para resistir aos esforços aí desenvolvidos. A armadura deve-se estender, a partir do apoio, de um comprimento pelo menos igual a $\frac{1}{4}$ do vão teórico da armadura principal.</p> | <p>Esta armadura deverá ter um comprimento de pelo menos 0.2 vezes o vão adjacente, medido a partir da face do apoio.</p> <p>Se os momentos negativos não forem considerados no cálculo, esta armadura deverá ser dimensionada para resistir pelo menos a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25% x $M_{máxvão}$ se apoio for de continuidade; • 15 x $M_{máxvão}$ se for apoio extremo. |
| Armadura de bordo livre e respetivo espaçamento | <p>Ao longo dos bordos livres das lajes deve dispor-se uma armadura constituída, no mínimo, por 2 varões, 1 em cada aresta, e uma armadura transversal ao bordo, envolvendo a primeira e prolongando-se para o interior da laje, de um comprimento de pelo menos duas vezes a espessura da laje, tal como ilustrado na figura seguinte:</p>  <p><i>Figura 43 – Armadura de bordo livre.</i></p> | <p>Ao longo de um bordo livre (não apoiado), a laje deverá, normalmente, ter armaduras longitudinais e transversais em geral dispostas como indicado na figura seguinte:</p>  <p><i>Figura 44 – Armadura de bordo livre.</i></p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes maciças | | |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Armadura de bordo livre e respetivo espaçamento (continuação) | <p>A secção da armadura transversal não deve ser inferior a:</p> $A_{s,T} \geq \begin{cases} 0.05 \times d \rightarrow A235 \\ 0.025 \times d \rightarrow A400 \text{ e } A500 \end{cases}$ <p>O espaçamento dos varões desta armadura não deve exceder:</p> $s_{As,t} \leq 35 \text{ cm}$ | |
| Armadura de punçoamento | <p>A armadura de punçoamento, constituída por estribos ou varões inclinados, deve ser distribuída em toda a zona da laje compreendida entre o contorno da área diretamente carregada e um contorno exterior a este, situado à distância de $1.5 \times d$, sendo que os varões que a constituem não devem ser afastados entre si mais de $0.75 \times d$ em qualquer direção.</p> | <p>O espaçamento entre ramos dos estribos de um perímetro não deverá ser superior a $1.5 \times d$ no interior do primeiro perímetro de controlo (localizado a menos de $2 \times d$ da área carregada) e não deverá ser superior a $2 \times d$ para os perímetros exteriores ao primeiro perímetro de controlo.</p> |

3.2.7 – Lajes aligeiradas

3.2.7.1 – Lajes aligeiradas segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às lajes aligeiradas no capítulo XI, subcapítulo C. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 112.º - Generalidades

O presente artigo, ostenta os critérios, segundo os quais, o presente capítulo é aplicável a lajes essencialmente constituídas por nervuras dispostas numa ou em duas direções ortogonais, solidarizadas por uma lajeta de compressão, podendo conter, blocos de cofragem incorporados.

- Artigo 113.º - Vão teórico. Espessura mínima

Este artigo remete para os artigos referentes aos mesmos casos para lajes maciças.

- Artigo 114.º - Largura e espaçamento das nervuras

O presente artigo trata a largura e espaçamento mínimos das nervuras em lajes aligeiradas.

- Artigo 115.º - Espessura mínima da lajeta

O presente artigo trata a espessura mínima da lajeta conforme o diferente tipo de laje.

- Artigo 116.º - Armadura das nervuras

As armaduras longitudinais e de esforço transversal das nervuras devem satisfazer os critérios estipulados para vigas.

- Artigo 117.º - Armadura mínima da lajeta

A lajeta deve ser armada nas duas direções com varões cujo espaçamento não exceda 25 cm. No caso, porém, de lajes armadas numa só direção, o espaçamento dos varões colocados em direção paralela à das nervuras principais pode ser aumentado até 35 cm.

3.2.7.2 – Lajes aligeiradas segundo o EC2

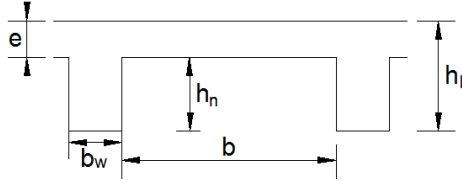
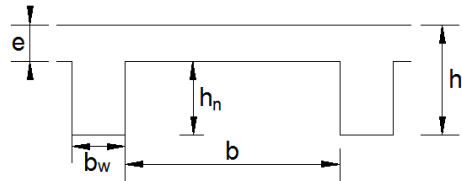
O EC2 apenas faz referência às lajes aligeiradas no capítulo 5 referente a análise estrutural dentro do subcapítulo 5.3, no ponto 5.3.1 – modelos estruturais para análise global.

- Ponto 5.3.1.º - Modelos estruturais para a análise global
 - Ponto 5.3.1 (6).º - Para efeitos de análise, as lajes nervuradas ou aligeiradas não necessitam de ser tratadas como elementos de barra, desde que a lajeta ou lâmina de compressão e as nervuras transversais tenham rigidez de torção suficiente.

3.2.7.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes aligeiradas

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das lajes-aligeiradas foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes aligeiradas | | |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Generalidades | Segundo o REBAP, para as lajes aligeiradas pode-se determinar os esforços atuantes considerando estes elementos como lajes maciças. Já para determinar os esforços resistentes do elemento, os mesmos determinam-se como se fossem um conjunto de vigas em T. | Os condicionamentos especificados para lajes aligeiradas indicam que se pode determinar os esforços atuantes considerando estes elementos como lajes maciças e determinar os esforços resistentes como se tratasse de um conjunto de vigas em T. |
| Vão teórico | O vão teórico a considerar no dimensionamento de lajes aligeiradas deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados no art. 87.º correspondente às vigas. | O vão efetivo a considerar no dimensionamento de lajes deve ser estabelecido de acordo com os critérios estipulados no porto 5.3.2.2 do respetivo regulamento. |
| Largura e espaçamentos das nervuras principais e secundárias | <p>A figura seguinte identifica os constituintes das lajes aligeiradas, desde a espessura da lajeta, a largura da zona aligeirada, largura das nervuras, altura das nervuras e altura total da laje. As dimensões mínimas e máximas regulamentadas estão tratadas em baixo.</p>  <p><i>Figura 45 – Dimensões das nervuras</i></p> <p>1 – Nervuras principais:</p> $\begin{cases} b_w \geq 5 \text{ cm} \\ s \leq 80 \text{ cm} \end{cases}$ <p>2 – Nervuras secundárias:</p> $\begin{cases} b_w \geq 5 \text{ cm} \\ b \geq 10 \times h_l \\ h_n \geq 0.8 \times h_l \end{cases}$ | <p>O EC 2 apenas menciona dimensões necessárias para que a lajeta ou lâmina de compressão e as nervuras transversais tenham rigidez de torção suficiente, as mesmas são apresentadas em conformidade com as defenições ilustradas na imagem seguinte.</p>  <p><i>Figura 46 – Dimensões das nervuras</i></p> $b \leq 1.5 \text{ m}$ $h_n \leq 4 \times b_w$ $s \leq 10 \times h_l$ $b_{eff} = b_{eff,i} + b_w \leq b$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes aligeiradas | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Espessura mínima da lajeta | <p>Segundo o REBAP a espessura mínima da lajeta é:</p> $e \geq \begin{cases} 5 \text{ cm} \rightarrow \text{sem blocos} \\ 4 \text{ cm} \rightarrow \text{com blocos e } s \geq 50 \text{ cm} \\ 3 \text{ cm} \rightarrow \text{com blocos e } s < 50 \text{ cm} \end{cases}$ <p>No caso de cargas distribuídas de valor elevado ou e cargas concentradas importantes, poderá ser necessário adotar espessuras superiores às mínimas indicadas.</p> | <p>A espessura da lajeta não deve ser inferior a:</p> $e \geq \begin{cases} \frac{1}{10} \times b \\ 5 \text{ cm} \end{cases}$ <p>No entanto, nos casos em que se utilizem blocos incorporados entre nervuras a espessura mínima pode ser reduzida para:</p> $e \geq 4 \text{ cm}$ |
| Armadura das nervuras | <p>As armaduras longitudinais e transversais das nervuras são calculadas conforme o correspondente às vigas.</p> <p>Relativamente às nervuras transversais de solidarização das lajes armadas numa só direção, ou nervuras secundárias, as armaduras devem ser armadas longitudinalmente com varões colocados junto a face oposta à atuação das cargas e com uma secção com um mínimo de:</p> $A_{sl,t} \geq 10\% \times A_{sl}$ | <p>O EC2 considera que estes elementos são tratados como um conjunto de vigas em T. Usa-se portanto o método de cálculo idêntico ao usado para as vigas.</p> |
| Armadura da lajeta | <p>A lajeta deve ser armada nas duas direções com varões cujo espaçamento não exceda o seguinte valor:</p> $s \leq 25 \text{ cm}$ <p>Nas lajes armadas numa só direção, o espaçamento dos varões colocados em direção paralela à das nervuras principais pode ser:</p> $s \leq 35 \text{ cm}$ | <p>O tratamento como vigas em T, menciona uma armadura transversal por unidade de comprimento de forma a impedir o corte na ligação alma-banzo, neste caso específico nervura-lajeta.</p> <p>Figura 47 – Armadura a dispor na lajeta</p> <p>A armadura transversal por unidade de comprimento A_{sf}/s_f poderá ser determinada por:</p> $\frac{A_{sf}}{s_f} \times f_{yd} \geq \frac{v_{Ed} \times h_f}{\cot \theta_f}$ |

3.2.8 – Lajes fungiformes

3.2.8.1 – Lajes fungiformes segundo o REBAP

O REBAP trata as disposições construtivas relativas às lajes fungiformes no capítulo XI, subcapítulo D. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 118.º - Generalidades

Considera-se lajes fungiformes as lajes contínuas apoiadas sobre pilares, armadas em duas direções, e que podem ser aligeiradas nas zonas centrais dos vãos.

Aplicam-se a este tipo de lajes, com as adaptações convenientes, as disposições relativas a lajes maciças e a lajes aligeiradas.

- Artigo 119.º - Determinação de esforços

Para os casos correntes, os esforços atuantes nas lajes fungiformes podem ser determinados considerando a estrutura, constituída pela laje e pelos pilares de apoio, dividida em 2 conjuntos independentes de pórticos em direções ortogonais.

3.2.8.2 – Lajes fungiformes segundo o EC2

O EC2 trata o dimensionamento de lajes fungiformes no capítulo 9, ponto 9.4. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 9.4.1.º - Laje na zona de pilares interiores

A disposição das armaduras nas lajes fungiformes deverá reproduzir o seu comportamento em serviço. De uma forma geral, resulta daqui uma concentração das armaduras na zona dos pilares.

- Ponto 9.4.2.º - Laje na zona de pilares de bordo ou de canto

As armaduras perpendiculares a um bordo livre, necessárias à transmissão de momentos fletores da laje para um pilar de bordo ou de canto, deverão ser colocadas na largura efetiva b_e .

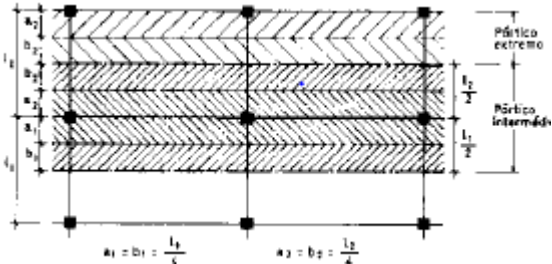
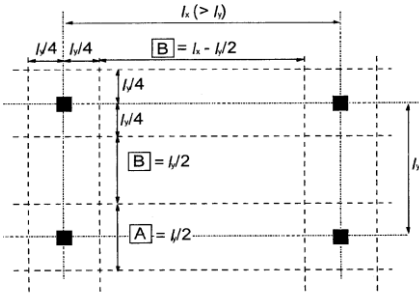
- Ponto 9.4.3.º - Armaduras de punçoamento

O presente ponto trata as armaduras de punçoamento, o mesmo refere que, estas deverão ser colocadas entre a área carregada ou o pilar de apoio e a distancia k_d no interior do perímetro de controlo a partir do qual a armadura de punçoamento deixa de ser necessária.

3.2.8.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Lajes fungiformes

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das lajes fungiformes foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes fungiformes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|---------------|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Determinação dos esforços | <p>Nas lajes fungiformes os esforços atuantes podem, geralmente, ser determinados por um processo simplificado, que consiste fundamentalmente em considerar a estrutura, constituída pela laje e pelos pilares de apoio, como de um pórtico se trata-se, de acordo com as seguintes regras:</p> <p>a) Cada pórtico é constituído por uma fila de pilares e por travessas de troços de laje adjacentes a essa fila, porém, para a determinação dos esforços devido a forças horizontais, a rigidez a considerar para estas travessas deve ser reduzida a metade do seu valor.</p> <p>b) As cargas atuantes de cada pórtico são as correspondentes à largura das travessas, não se considerando qualquer repartição das cargas entre pórticos ortogonais.</p> <p>c) Os momentos flectores determinados nas travessas devem ser distribuídos, nas suas faixas central e lateral de acordo com a figura e quadro seguintes:</p> <table border="1" data-bbox="421 1438 879 1576"> <thead> <tr> <th>Momentos Flectores</th> <th>Faixa Central</th> <th>Faixa Lateral</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Positivos</td> <td>55%</td> <td>45%</td> </tr> <tr> <td>Negativos</td> <td>75%</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabela 6 – Distribuição de momentos. - REBAP</p>  <p>Figura 48 – Pórticos equivalentes - REBAP</p> | Momentos Flectores | Faixa Central | Faixa Lateral | Positivos | 55% | 45% | Negativos | 75% | 25% | <p>As lajes fungiformes deverão ser analisadas utilizando um método comprovado, dos pórticos equivalentes, entre outros.</p> <p>Para a presente comparação apenas vais ser considerada a análise por pórticos equivalentes, a mesma consiste em dividir a estrutura longitudinal e transversalmente em pórticos constituídos por pilares e troços de laje compreendidos entre as linhas médias de painéis adjacentes.</p> <p>Os momentos flectores totais obtidos na análise deverão ser distribuídos por toda a largura da laje. Numa análise elástica, os momentos negativos tendem a concentrar-se na vizinhança dos eixos dos pilares.</p> <p>Para o cálculo deverá considerar-se os painéis divididos em faixas sobre pilares e em faixas centrais, tal como ilustrado na figura 49, e distribuir os momentos flectores conforme indicado na tabela....</p> <table border="1" data-bbox="948 1417 1453 1547"> <thead> <tr> <th>Momentos Flectores</th> <th>Faixa sobre Pilares</th> <th>Faixa Central</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Positivos</td> <td>50% - 70%</td> <td>50% - 30%</td> </tr> <tr> <td>Negativos</td> <td>60% - 80%</td> <td>40% - 20%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabela 7 – Distribuição de momentos – EC 2</p>  <p>Figura 49 – Pórticos equivalentes – EC2</p> | Momentos Flectores | Faixa sobre Pilares | Faixa Central | Positivos | 50% - 70% | 50% - 30% | Negativos | 60% - 80% | 40% - 20% |
| | Momentos Flectores | Faixa Central | Faixa Lateral | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Positivos | 55% | 45% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Negativos | 75% | 25% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Momentos Flectores | Faixa sobre Pilares | Faixa Central | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Positivos | 50% - 70% | 50% - 30% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Negativos | 60% - 80% | 40% - 20% | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes fungiformes | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Determinação dos esforços (continuação) | <p>O presente processo simplificado designado de método dos pórticos equivalentes (MEP) é adequado para lajes sujeitas predominantemente a cargas uniformemente distribuídas e para as quais seja possível considerar um sistema regular de pórticos ortogonais.</p> | |
| Disposição de armaduras | <p>O REBAP não faz referência a diferentes tipos de disposições de armaduras para as faixas consideradas na determinação de esforços, faixa central e lateral, respetivamente, sugerindo apenas, com as adaptações convenientes, aplicar-se as disposições relativas a lajes maciças e a lajes aligeiradas.</p> <p>O regulamento refere também que nas lajes fungiformes é necessário ter em especial atenção ao punçoamento (em cada uma das direções ortogonais), fenómeno esse que será abordado de forma separada mais adiante.</p> | <p>O EC 2 separa os pormenores de disposição de armaduras para as lajes fungiformes da seguinte forma:</p> <p>1) Laje na zona de pilares interiores:</p> <p>i) A disposição das armaduras nas lajes fungiformes deverá reproduzir o seu comportamento em serviço. De uma forma geral, resulta numa concentração das armaduras na zona dos pilares.</p> <p>ii) Caso não se efetuem cálculos rigorosos para as condições de utilização, adota-se uma armadura superior com 50% da armadura total necessária para resistir ao momento negativo, e deve ser disposta numa largura de cada lado do pilar igual a 0.125 vezes a largura da laje.</p> <p>iii) Deverá adotar-se uma armadura inferior com pelo menos 2 varões em cada direção ortogonal, esta armadura deverá atravessar o pilar.</p> <p>2) Laje na zona de pilares de bordo ou de canto:</p> <p>i) As armaduras perpendiculares a um bordo livre, necessárias à transmissão de momentos fletores da laje para um pilar de bordo ou de canto, deverão ser colocadas na largura efetiva, b_e, Representada na seguinte figura.</p> <p>Figura 50 – Armaduras de pilares de canto ou bordo</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Lajes fungiformes | | |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Disposição de armaduras (continuação) | | <p>3) Armadura de punçoamento:</p> <p>i) Nas lajes fungiformes é necessário também ter em especial atenção ao fenómeno do punçoamento que será abordado de forma separada mais adiante.</p> |
| Disposição irregular dos pilares | O REBAP não faz referência a situações em que a disposição dos pilares é irregular. | <p>1 - Quando, devido à disposição irregular dos pilares, não for possível analisar de forma razoável uma laje fungiforme pelo método dos pórticos equivalentes, poderá utilizar-se o método das grelhas ou outro método elástico. Neste caso, o seguinte método simplificado será normalmente suficiente:</p> <p>i) Analisar a laje com a carga total aplicada em todos os tramos:</p> $\gamma_Q \times Q_K + \gamma_G \times G_K$ <p>ii) Os momentos a meio vão e sobre os pilares deverão ser majorados para ter em conta os efeitos do padrão de carregamento. Para este efeito, poderá carregar-se um ou mais tramos críticos com:</p> $\gamma_Q \times Q_K + \gamma_G \times G_K$ <p>Sendo que para a restante laje:</p> $\gamma_G \times G_K$ <p>Caso haja uma diferença significativa na carga permanente dos tramos, o γ_G deverá ser considerado igual a 1 para os tramos não carregados.</p> <p>iii) Os efeitos deste carregamento particular poderão depois ser aplicados de forma semelhante a outros tramos e pilares críticos.</p> <p>2 – A não ser que haja vigas de bordo, devidamente dimensionadas à torção, os momentos transferidos para os pilares de bordo ou de canto deverão ser limitados ao momento resistente de uma secção retangular igual a:</p> $0.17 \times b_e \times d^2 \times f_{ck}$ |

3.2.9 – Fundações

3.2.9.1 – Fundações segundo o REBAP

O REBAP não possui regulamentação para o dimensionamento das fundações, tratando as mesmas como se fossem lajes maciças.

3.2.9.2 – Fundações segundo o EC2

O EC2 trata o dimensionamento de fundações no capítulo 9, ponto 9.8. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 9.8.1.º - Encabeçamentos de estacas

O presente ponto apresenta um conjunto de regras a cumprir de forma a garantir um correto dimensionamento dos encabeçamentos de estacas.

- Ponto 9.8.2.º - Sapatas de pilares ou paredes

- Ponto 9.8.2.1.º - Generalidades

A armadura principal de sapatas circulares poderá ser ortogonal e concentrada no meio da sapata numa largura de $50\% \pm 10\%$ do diâmetro desta. As partes não armadas do elemento deverão se consideradas, para efeitos de cálculo, como de betão simples.

- Ponto 9.8.2.2.º - Amarração dos varões

O presente ponto apresenta as verificações a cumprir de forma a garantir uma correta amarração dos varões na fundação.

- Ponto 9.8.3.º - Vigas de equilíbrio

Poderão utilizar-se vigas de equilíbrio para equilibrar a excentricidade do carregamento das fundações. As vigas deverão ser calculadas para resistir aos momentos fletores e aos esforços transversos resultantes.

- Ponto 9.8.4.º - Sapatas de pilares fundados em rocha

As armaduras transversais adequadas deverão ser adotadas para resistir às forças de tração transversal da sapata. Estas armaduras poderão ser distribuídas uniformemente ao longo da altura e com a direção da força de tração transversal.

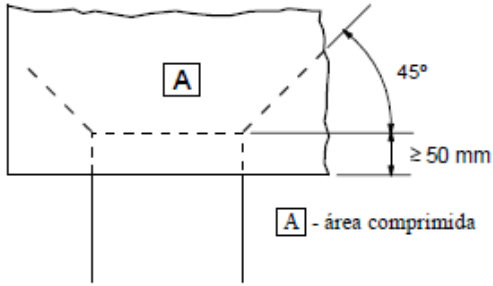
- Ponto 9.8.5.º - Estacas moldadas

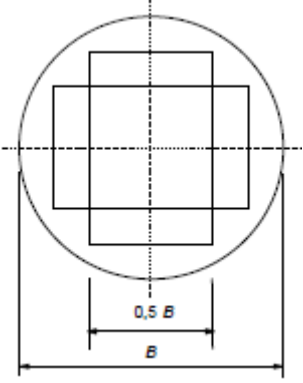
O presente ponto apresenta as verificações a cumprir de forma a garantir uma correta amarração dos varões na fundação.

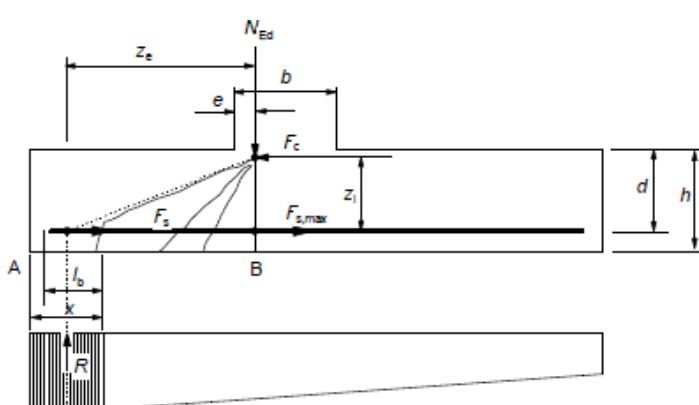
3.2.9.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Fundações

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas das fundações foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fundações | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Encabeçamento de estacas | Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças. | <p>O EC2 define um conjunto de regras a cumprir de forma a garantir um correto dimensionamento dos encabeçamentos de estacas, entre elas:</p> <p>1 – A distância entre as extremidades da estaca e do encabeçamento devem ser tal que, as forças de ligação no encabeçamento possam ser convenientemente amarradas.</p> <p>2 – A armadura principal de tração resistente aos efeitos das ações deverá ser concentrada nas zonas tracionadas entre estacas e deverá ter como diâmetro mínimo:</p> $\phi_{min} \geq 10 \text{ mm}$ <p>3 – Se a área da armadura principal for pelo menos igual à armadura mínima, pode-se dispensar os varões regularmente distribuídos na face inferior do elemento. Além disso, os lados e a face superior do elemento poderão não ser amarrados desde que não haja risco de desenvolvimento de tensões de tração nessas zonas.</p> <p>4 – Pode-se utilizar varões transversais soldados para a amarração da armadura de tração. Neste caso, o varão transversal poderá considerar-se como fazendo parte das armaduras transversais na zona de amarração do varão considerado.</p> <p>5 – Poderá considerar-se que a compressão causada pela reação de apoio da estaca se estende com um ângulo de 45° a partir do bordo da estaca (ver figura 51). Esta compressão poderá ser tomada em consideração no cálculo do comprimento de amarração.</p>  <p>Figura 51 – Área comprimida que aumenta a capacidade de amarração.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fundações | | |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Sapatas de pilares ou de paredes</p> | <p>Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças.</p> | <p>1 – A armadura principal deverá ser amarrada de acordo com o estabelecido nos ponto 8.4 e 8.5 do presente regulamento correspondentes às amarrações de armaduras.</p> <p>2 – Deverão utilizar-se varões com um diâmetro mínimo:</p> $\phi_{min} \geq 10 \text{ mm}$ <p>3 - A armadura principal de sapatas circulares poderá ser ortogonal e concentrada no meio da sapata numa largura de $50\% \pm 10\%$ do diâmetro desta como ilustrado na figura seguinte:</p>  <p><i>Figura 52 – Armadura ortogonal em sapatas circulares</i></p> <p>4 - As partes não armadas do elemento deverão se consideradas, para efeitos de cálculo, como de betão simples.</p> <p>5 – No caso de os efeitos das ações causarem tração na face superior da sapata, as resultantes tensões de tração deverão ser verificadas e equilibradas por armaduras.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fundações | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Amarração dos varões | Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças. | <p>1 – A força de tração na armadura é determinada a partir das condições de equilíbrio e tendo em conta o efeito das fendas inclinadas, como demonstrado na figura seguinte:</p>  <p>Figura 53 – Modelo da força de tração considerando fendas inclinadas</p> |
| | | <p>2 – A força de tração a amarrar é obtida por:</p> $F_s = R \times \frac{z_e}{z_j}$ <p>3 – Os braços do binário z_e e z_i poderão ser determinados considerando as zonas comprimidas necessárias ao equilíbrio de N_{ED} e de F_c, respetivamente. Como simplificação poderá ser admitido que:</p> $z_e = 0.15 \times b$ $z_i = 0.9 \times d$ <p>4 – Se o comprimento de amarração não for suficiente para amarrar F_s, os varões poderão ser dobrados para cima de modo a aumentar o comprimento disponível ou terem dispositivos de amarração de extremidade.</p> <p>5 – Para varões retos sem dispositivos de amarração de extremidade, o valor mínimo de x é determinante. Como simplificação, poderá considerar-se:</p> $x_{min} = \frac{h}{2}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fundações | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Vigas de equilíbrio | Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças. | <p>Para as vigas de equilíbrio a armadura a utilizar deverá ter um diâmetro mínimo de:</p> $\phi_{min} \geq 10 \text{ mm}$ <p>As vigas de equilíbrio deverão ser também calculadas para uma carga mínima de q_1 se puderem ser solicitadas por equipamento de compactação, o valor recomendado para o q_1 é:</p> $q_1 = 10 \text{ kN/m}$ |
| Sapatas de pilares fundados em rocha | Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças. | <p>As armaduras transversais adotadas deverão resistir às forças de tração transversal na sapata, quando, em estado último, a pressão do terreno é superior a q_2. Estas armaduras poderão ser distribuídas uniformemente ao longo da altura h com a direção da força de tração transversal, tal como demonstrado na seguinte figura:</p> <p>a) sapata com $h \geq H$ b) seção c) sapata com $h < H$</p> <p><i>Figura 54 – Sapatas fundadas em rocha</i></p> <p>Os valores de q_2 e ϕ_{min} recomendados são:</p> $q_2 = 5 \text{ kN/m}$ $\phi_{min} \geq 10 \text{ mm}$ <p>A força de tração transversal F_s, poderá ser calculada da seguinte forma:</p> $F_s = 0.25 \times \left(1 - \frac{c}{h}\right) \times N_{Ed}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fundações | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | |
| Estacas moldadas (armadas) | Segundo o REBAP, as fundações podem ser tratadas como lajes maciças. | <p>1 – Para permitir uma boa betonagem em torno das armaduras, é importante que a armadura, as gaiolas e quaisquer peças embebidas sejam pormenorizadas de forma a não prejudicar a colocação do betão.</p> <p>2 – As estacas moldadas deverão ter uma área mínima de armaduras longitudinais $A_{S,bpmin}$ relacionada com a secção transversal da estaca A_c, essa relação está apresentada no quadro abaixo:</p> <table border="1" data-bbox="715 607 1449 875"> <thead> <tr> <th>Secção da Estaca A_c</th> <th>Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$A_c \leq 0.5 \text{ m}^2$</td> <td>$A_s \geq 0.005 \times A_c$</td> </tr> <tr> <td>$0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$</td> <td>$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$</td> </tr> <tr> <td>$A_c > 1.0 \text{ m}^2$</td> <td>$A_s \geq 0.0025 \times A_c$</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 8 – Área mínima da estaca e das respetivas armaduras longitudinais</i></p> <p>As estacas deverão ter, pelo menos, 6 varões longitudinais. Sendo que o diâmetro mínimo destes não deverá ser inferior a:</p> $\phi_{min} \geq 16 \text{ mm}$ <p>A distância livre entre varões deverá ser superior a 200 mm, medida ao longo da periferia da estaca.</p> $s \leq 200 \text{ mm}$ <p>O EC2 remete as disposições construtivas relativas a armaduras longitudinais e transversais em estacas moldadas para a EN 1536.</p> | Secção da Estaca A_c | Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$ | $A_c \leq 0.5 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0.005 \times A_c$ | $0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 25 \text{ cm}^2$ | $A_c > 1.0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0.0025 \times A_c$ |
| | | Secção da Estaca A_c | Área mínima de armaduras Longitudinais, $A_{S,bpmin}$ | | | | | | | |
| | | $A_c \leq 0.5 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0.005 \times A_c$ | | | | | | | |
| | | $0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 25 \text{ cm}^2$ | | | | | | | |
| | | $A_c > 1.0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0.0025 \times A_c$ | | | | | | | |

3.2.10 – Fendilhação

3.2.10.1 – Fendilhação segundo o REBAP

O REBAP aborda a fendilhação no capítulo IV, subcapítulo B. Seguidamente são identificados e analisados os artigos presentes no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 67.º - Agressividade do ambiente e sensibilidade as armaduras à corrosão
Para a escolha dos estados limites de fendilhação em relação aos quais há que verificar a segurança, interessa considerar a agressividade do ambiente e a sensibilidade das armaduras à corrosão.
- Artigo 68.º - Estados limites de fendilhação a considerar
Os estados limites de fendilhação a considerar para assegurar a conveniente durabilidade das estruturas devem ser escolhidos em relação a cada tipo de combinação de ações de acordo com o RSA, sendo estas, combinações raras, combinações frequentes e combinações quase-permanentes.
- Artigo 69.º - Estados limites de descompressão
A segurança em relação ao estado limite de descompressão considera-se satisfeita se não existirem, nas secções do elemento, trações ao nível da fibra extrema que ficaria mais tracionada (ou menos comprimida) por efeito dos esforços atuantes, exceto no pré-esforço.
- Artigo 70.º - Estados limites de largura de fendas
A segurança em relação ao estado limite de largura de fendas considera-se satisfeita se o valor característico da largura de fendas ao nível das fendas, ao nível da armaduras mais tracionadas for inferior ao valor limite regulamentado.
- Artigo 71.º - Verificação da tensão máxima de compressão
Esta verificação que consiste numa limitação da tensão de compressão visa obviar a eventual fendilhação longitudinal do betão ou a deformação excessiva devida à fluência.

3.2.10.2 – Fendilhação segundo o EC2

O EC2 trata a fendilhação no capítulo 7, ponto 7.3. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 7.3.1.º - Generalidades

A fendilhação deve ser limitada de modo a que não prejudique o funcionamento correto ou a durabilidade da estrutura nem torne o seu aspeto inaceitável.

- Ponto 7.3.2.º - Armaduras mínimas

Se for requerido o controlo da fendilhação, será necessária uma quantidade mínima de armaduras aderentes para limitar a fendilhação nas zonas em que se prevejam tensões de tração.

- Ponto 7.3.3.º - Controlo da fendilhação sem cálculo direto

Como simplificação o controlo da fendilhação pode ser garantido recorrendo a tabelas, que limitam os diâmetros ou o espaçamento máximo dos varões em função da tensão do aço.

- Ponto 7.3.4.º - Controlo da largura de fendas

O presente ponto apresenta as expressões de cálculo para obter a largura de fendas.

3.2.10.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Fendilhação

Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas da fendilhação foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fendilhação | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|------------|-------------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------------------------|-----------------|-------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | | | |
| Condições ambientais | <p>Do ponto de vista da sua agressividade, os ambientes classificam-se do seguinte modo:</p> <p>1 - Ambientes pouco agressivos – ambientes em que a humidade relativa é habitualmente baixa e em que não é de esperar a presença de agentes corrosivos.</p> <p>2 - Ambientes moderadamente agressivos – ambientes interiores em que a humidade relativa é habitualmente elevada ou em que é de esperar a presença temporária de agentes corrosivos. São também classificados da mesma forma, os ambientes exteriores sem concentração especial de agentes corrosivos.</p> <p>3 - Ambientes muito agressivos – ambientes com forte concentração habitual de agentes corrosivos.</p> | <p>O EC 2 classifica as condições ambientais com um quadro com base na EN 206-1.</p> <p>O quadro apresenta um conjunto de distintos tipos de ambientes, atribuindo a cada um destes uma designada classe de exposição, sendo que estas estão divididas da seguinte forma:</p> <p>X_0 – Sem risco de corrosão; X_C – Corrosão induzida por carbonatação; $X_{C1}, X_{C2}, X_{C3}, X_{C4}$ X_D – Corrosão induzida por cloretos; X_{D1}, X_{D2}, X_{D3} X_S – Corrosão induzida por cloretos da água do mar; - X_{S1}, X_{S2}, X_{S3} X_F – Ataque de gelo e de degelo; X_{F1}, X_{F2}, X_{F3} X_A – Ataque químico, X_{A1}, X_{A2}, X_{A3}</p> | | | | | | | | | | | | |
| Estado limite de fendilhação | <p>Para as armaduras ordinárias, o estado limite a considerar é o de largura de fendas, nas condições indicadas no quadro seguinte:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ambiente</th> <th>Conbin. de ações</th> <th>Estado limite</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pouco agressivo</td> <td>Frequentes</td> <td>Largura de fendas $w = 0.3 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>Moderad. agressivo</td> <td>Frequentes</td> <td>Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>Muito agressivo</td> <td>Raras</td> <td>Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 9 – Largura de fendas máxima para armaduras ordinárias</i></p> | Ambiente | Conbin. de ações | Estado limite | Pouco agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.3 \text{ mm}$ | Moderad. agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$ | Muito agressivo | Raras | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | <p>O valor de $w_{\text{máx}}$ corresponde a um valor limite para a largura de fendas, tendo em conta a função e a natureza da estrutura, e os custos associados às medidas necessárias à limitação da fendilhação.</p> <p>Os valores de $w_{\text{máx}}$ recomendados para as diferentes classes de exposição estão indicados no quadro seguinte:</p> |
| Ambiente | Conbin. de ações | Estado limite | | | | | | | | | | | | |
| Pouco agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.3 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | |
| Moderad. agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | |
| Muito agressivo | Raras | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fendilhação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------|------------|-------------------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------|-------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------|-------------------------------------------|------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|--|--------------------------------|-------------------------|---------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|------------------------------------------|--------|----------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estado limite de fendilhação (continuação) | <p>Para as armaduras de pré-esforço, os estados limites a considerar são o de descompressão e o de largura de fendas, nas condições indicadas no quadro seguinte:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ambiente</th> <th>Conbin. de ações</th> <th>Estado limite</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Pouco agressivo</td> <td>Frequentes</td> <td>Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>Quase Permanen.</td> <td>Descompressão</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Moderad. agressivo</td> <td>Frequentes</td> <td>Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>Quase Permanen.</td> <td>Descompressão</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Muito agressivo</td> <td>Raras</td> <td>Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$</td> </tr> <tr> <td>Frequentes</td> <td>Descompressão</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 10 – Largura de fendas máxima para armaduras de pré-esforço</i></p> | Ambiente | Conbin. de ações | Estado limite | Pouco agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$ | Quase Permanen. | Descompressão | Moderad. agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | Quase Permanen. | Descompressão | Muito agressivo | Raras | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | Frequentes | Descompressão | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Classes de exposição</th> <th>Para betão armado e cabos não aderentes</th> <th>Para cabos aderentes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td><u>Ações quase Permanentes</u></td> <td><u>Ações frequentes</u></td> </tr> <tr> <td>X_0, X_{C1}</td> <td>0.4 mm</td> <td>0.2 mm</td> </tr> <tr> <td>X_{C2}, X_{C3}, X_{C4}</td> <td>0.3 mm</td> <td>0.1 mm</td> </tr> <tr> <td>$X_{D1}, X_{D2}, X_{S1}, X_{S2}, X_{S3}$</td> <td>0.3 mm</td> <td>Descomp.</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabela 11 – Largura de fendas máxima para as diferentes classes de exposição</i></p> <p>Para elementos sujeitos à classe de exposição X_{D3}, poderão ser necessárias medidas especiais. A escolha das medidas adequadas dependerá da natureza do agente agressivo em causa.</p> | Classes de exposição | Para betão armado e cabos não aderentes | Para cabos aderentes | | <u>Ações quase Permanentes</u> | <u>Ações frequentes</u> | X_0, X_{C1} | 0.4 mm | 0.2 mm | X_{C2}, X_{C3}, X_{C4} | 0.3 mm | 0.1 mm | $X_{D1}, X_{D2}, X_{S1}, X_{S2}, X_{S3}$ | 0.3 mm | Descomp. |
| | Ambiente | Conbin. de ações | Estado limite | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pouco agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.2 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Quase Permanen. | Descompressão | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moderad. agressivo | Frequentes | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Quase Permanen. | Descompressão | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muito agressivo | Raras | Largura de fendas $w = 0.1 \text{ mm}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Frequentes | Descompressão | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Classes de exposição | Para betão armado e cabos não aderentes | Para cabos aderentes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <u>Ações quase Permanentes</u> | <u>Ações frequentes</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X_0, X_{C1} | 0.4 mm | 0.2 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X_{C2}, X_{C3}, X_{C4} | 0.3 mm | 0.1 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $X_{D1}, X_{D2}, X_{S1}, X_{S2}, X_{S3}$ | 0.3 mm | Descomp. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Largura de abertura de fendas (w_K) | <p>A segurança relativamente ao estado limite de largura de fendas considera-se satisfeita se o valor característico da largura de fendas (w_K), não exceder o valor w especificado nas tabelas correspondentes ao valor máximo.</p> <p>Para determinar w_K, utiliza-se as seguintes expressões:</p> $w_K = 1.7 \times w_m$ <p>Em que:</p> $w_m = s_{rm} \times \epsilon_{rm}$ <p>Sendo:</p> <p>ϵ_{sm} – Extensão média da armadura; s_{sm} – Distância média entre fendas.</p> | <p>O valor característico da largura de fendas (w_K), que não pode exceder o valor $w_{m\max}$ especificado nas tabelas correspondentes ao valor máximo, calcula-se da seguinte forma:</p> $w_K = s_{r,\max} \times (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ <p>Sendo:</p> <p>$s_{r,\max}$ – Distância máxima entre fendas; ϵ_{sm} – Extensão média da armadura para a combinação de ações considerada; ϵ_{cm} – Extensão média no betão entre fendas.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fendilhação | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Extensão média | <p>Para o cálculo da extensão média as armaduras tracionadas recorre-se à seguinte expressão:</p> $\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \times \left[1 - \beta_1 \times \beta_2 \times \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right]$ <p>Sendo:</p> <p>σ_s → Tensão no aço (secção fendilhada)</p> <p>E_s → Módulo de elasticidade do aço</p> <p>σ_{sr} → Tensão na armadura para o esforço que provoca a fendilhação.</p> <p>β_1 → Coeficiente dependente das características de aderência:</p> $\beta_1 = \begin{cases} 1 & \rightarrow \text{alta aderência} \\ 0.5 & \rightarrow \text{aderência normal} \end{cases}$ <p>β_2 → Coeficiente de permanência ou repetição de acções:</p> $\beta_2 = \begin{cases} 1 & \rightarrow C. Raras \\ 0.5 & \rightarrow C. F \text{ ou } C. Q. P. \end{cases}$ | <p>$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ poderá ser calculado pela expressão:</p> $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})}{E_s}$ $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \geq 0.6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$ <p>Sendo:</p> <p>σ_s → tensão no aço (Secção fendilhada)</p> $\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$ <p>k_t → Coeficiente em função da duração do carregamento.</p> $k_t = \begin{cases} 0.6 & \rightarrow \text{acções de curta duração} \\ 0.4 & \rightarrow \text{acções de longa duração} \end{cases}$ <p>A resistência de tração do betão é obtido pelo tempo de cura do betão:</p> $f_{ct,eff} = f_{ctm} \rightarrow \geq 28 \text{ dias.}$ $f_{ct,eff} = f_{ctm(t)} \rightarrow < 28 \text{ dias.}$ $\rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 \times A'_p)}{A_{c,eff}}$ <p>ξ_1 – Coeficiente corrigido da resistência de aderência, em que ξ, é um valor tabelado.</p> $\xi_1 = \sqrt{\xi \times \frac{\phi_s}{\phi_p}}$ <p>A_s – Área de armadura ordinária.</p> <p>A'_p – Área de armadura pré ou pós-tensionada existente em $A_{c,eff}$.</p> <p>$A_{c,eff}$ – Área efetiva de betão tracionado que envolve as armaduras, com uma altura de:</p> $h_{c,ef} \leq \begin{cases} 2.5 \times (h - d) \\ \frac{(h - x)}{3} \\ h \\ \frac{h}{2} \end{cases}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fendilhação | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Distância entre fendas | <p>Para calcular a distância média entre fendas, recorre-se à seguinte fórmula:</p> $s_{rm} = 2 \times \left(c + \frac{s}{10} \right) + \eta_1 \times \eta_2 \times \frac{\phi}{\rho_r}$ <p>Sendo:</p> <p>c - O recobrimento das armaduras;</p> <p>s - O espaçamento dos varões da armadura, que tem de ser inferior a:</p> $s \leq 15 \times \phi$ <p>Quando o espaçamento excede este valor adopta-se para efeitos de cálculo $15 \times \phi$.</p> <p>η_1 - Um coeficiente relativo a aderência das armaduras;</p> <p>η_2 - Um coeficiente dependente da distribuição de tensões de tracção na secção;</p> <p>ρ_r - Relação entre A_s/A_{cr};</p> <p>A_s - Área de armadura (excluindo as pós-tensionadas);</p> <p>A_{cr} - Área de betão traccionado envolvente da armadura.</p> $\rho_r = \frac{A_s}{A_{c,r}}$ <p>Os coeficientes η_1 e η_2 são obtidos da seguinte forma:</p> $\eta_1 = \begin{cases} 0,4 \rightarrow \text{varões de alta aderência} \\ 0,8 \rightarrow \text{varões de aderência normal} \end{cases}$ $\eta_2 = 0,25 \times \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2 \times \varepsilon_1}$ <p>ε_1 - extensão superior da secção fendilhada ε_2 - extensão inferior da secção fendilhada</p> | <p>O EC2 apresenta diferentes métodos para obter a distância entre fendas, conforme o caso de estudo.</p> <p>1 - Nos casos em que a distância entre eixo das armaduras aderentes localizadas na zona tracionada cumprem a seguinte condição:</p> $s \leq 15 \times \left(c + \frac{\phi}{2} \right)$ <p>A distância máxima final entre fendas poderá ser calculada pela expressão:</p> $s_{r,m\acute{a}x} = k_3 \times c + \frac{k_1 \times k_2 \times k_4 \times \phi}{\rho_{p,eff}}$ <p>Sendo:</p> <p>ϕ - No caso de existirem varões de diâmetros diferentes, deverá utilizar-se um diâmetro equivalente, ϕ_{eq}. Para obter ϕ_{eq} relaciona-se o diâmetro e número dos diferentes varões.</p> $\phi_{eq} = \frac{n_1 \times \phi_1^2 + n_2 \times \phi_2^2}{n_1 \times \phi_1 + n_2 \times \phi_2}$ <p>c – recobrimento da armadura longitudinal;</p> <p>k_1 – coeficiente relativo à aderência das armaduras:</p> $k_1 = \begin{cases} 0,8 - \text{alta aderência} \\ 1,6 - \text{baixa aderência} \end{cases}$ <p>k_2 – coeficiente que tem em conta a distribuição das extensões:</p> $k_2 = \begin{cases} 0,5 - \text{Flexão} \\ 1,6 - \text{Tracção simples} \end{cases}$ <p>Nos casos de tração excêntrica ou para zonas localizadas, deverão usar-se valores intermédios de k_2, calculados pela relação:</p> $k_2 = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{(2 \times \varepsilon_1)}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Fendilhação | | |
|----------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Distância entre fendas (continuação) | | <p>Os valores recomendados de k_3 e k_4 são os seguintes:</p> $k_3 = 3.4$ $k_4 = 0.425$ <p>2 - Nos casos em que não existem armaduras aderentes na zona tracionada ou nos casos em que a distância entre eixos das armaduras aderentes localizadas na zona tracionada cumprem a seguinte condição:</p> $s > 15 \times \left(c + \frac{\phi}{2} \right)$ <p>A distância máxima final entre fendas poderá ser calculada pela expressão:</p> $S_{r,máx} = 1.3 \times (h - x)$ <p>3 - No caso de elementos armados em duas direcções ortogonais, quando o ângulo das tensões principais e as armaduras for significativo ($>15^\circ$), a distância entre fendas é calculada pela seguinte expressão:</p> $S_{r,máx} = \frac{1}{\frac{\cos \theta}{S_{r,máx,y}} + \frac{\sin \theta}{S_{r,máx,z}}}$ <p>4 - No caso de paredes sujeitas a uma contracção térmica precoce, onde A_s, não satisfaz os requisitos de armadura mínima à fendilhação e com base encastrada numa sapata betonada previamente, então:</p> $S_{r,máx} = 1.3 \times h$ <p>Sendo:</p> <p>h - altura da parede</p> |

3.2.11 – Modelo de escoras e tirantes

3.2.11.1 – Modelo de escoras e tirantes segundo o REBAP

O REBAP aborda de forma indireta o modelo de escoras e tirantes no capítulo XI, subcapítulo H que é designado como consolas curtas. Seguidamente é identificado e analisado o artigo presente no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 136.º - Critério de dimensionamento

O presente artigo apresenta os critérios de dimensionamento de consolas curtas, apresentando uma simplificação de cálculo, segundo o mesmo pode admitir-se a formação de um sistema resistente constituído por um tirante de armadura e por uma biela comprimida de betão.

3.2.11.2 – Modelo de escoras e tirantes segundo o EC2

O EC2 trata o modelo de escoras e tirantes no capítulo 6, ponto 6.5. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 6.5.1.º - Generalidades

Quando existe uma distribuição não linear de extensões (por exemplo, apoios presentes na vizinhança de cargas concentradas ou de tensões planas), poderão utilizar-se modelos de escoras e tirantes.

- Ponto 6.5.2.º - Escoras

O presente ponto apresenta as expressões de cálculo para obter o valor de cálculo da resistência de uma escora de betão.

- Ponto 6.5.3.º - Tirantes

O valor de cálculo da resistência dos tirantes transversais e das armaduras deverá ser limitado de acordo com as características dos materiais.

- Ponto 6.5.4.º - Nós

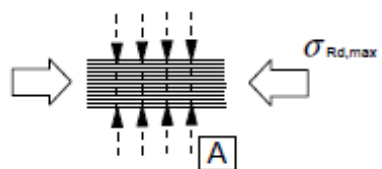
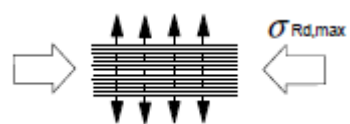
As regras relativas aos nós aplicam-se também às regiões em que as forças concentradas são transmitidas a um elemento mas que não são calculadas pelo método das escoras e tirantes.

As forças que atuam nos nós necessitam de estar em equilíbrio. Devem ser considerados os esforços transversais de tração perpendiculares ao plano do nó.

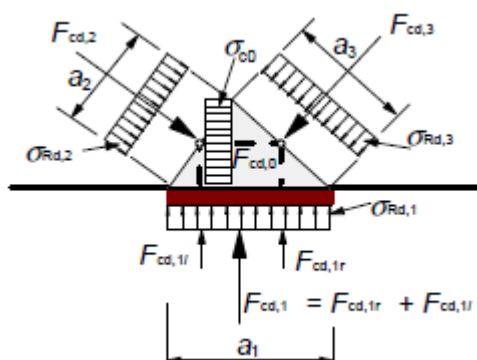
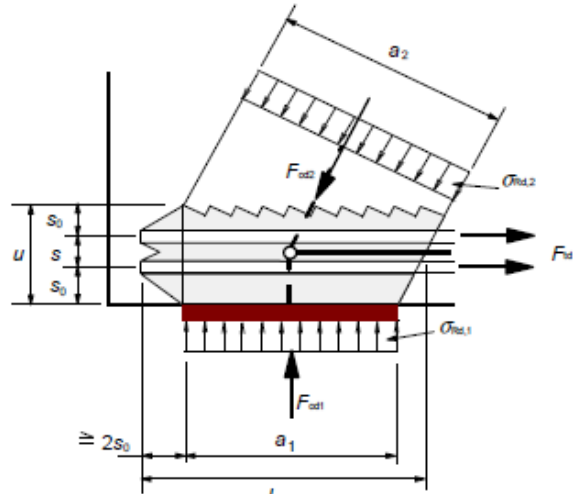
3.2.11.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Método de escoras e tirantes

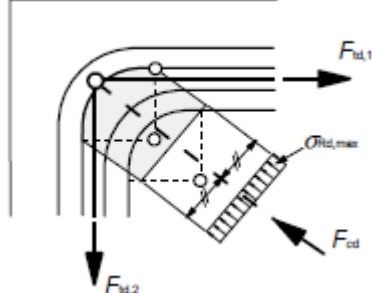
Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas do método de escoras e tirantes foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Método das escoras e tirantes | | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Escoras | <p>A força de compressão na biela de betão, F_{cSd}, aplicada deve satisfazer a condição:</p> $F_{cSd} = \frac{1}{2} \times \tau_2 \times b \times d$ | <p>O valor de cálculo da resistência de uma escora de betão numa região com tensões de compressão transversal ou sem tensões transversais poderá ser calculado com base na expressão:</p>  <p>A tensões de compressão transversal ou ausência de tensões transversais</p> <p><i>Figura 55 – Valor de cálculo da resistência das escoras de betão na ausência de trações transversais.</i></p> $\sigma_{Rd,max} = f_{cd}$ <p>O valor de cálculo da resistência de uma escora de betão deverá ser reduzido em zonas comprimidas fendilhadas, que a não ser que se utilize um método mais rigoroso, poderá ser calculado com base na expressão:</p>  <p><i>Figura 56 – Valor de cálculo da resistência das escoras de betão sujeitas a tração transversal.</i></p> $\sigma_{Rd,max} = 0.6 \times v' \times f_{cd}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Método das escoras e tirantes | | |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Tirantes | <p>A secção de armadura que constitui o tirante, A_s, é determinada pela expressão:</p> $A_s = \frac{F_{ss}}{f_{syd}}$ <p>Sendo:</p> <p>F_{ssd} – Força do tirante correspondente ao valor de cálculo, F_{sd}, da força aplicada (obtido considerando os coeficientes de segurança γ_f).</p> | <p>A armadura necessária para resistir às forças nos nós de concentração de esforços poderá ser distribuída ao longo de um determinado comprimento (como demonstrado na figura seguinte). Quando a armadura na zona dos nós se desenvolve numa extensão considerável de um elemento, deverá ser distribuída na zona em que as isostáticas de compressão são curvas (tirantes e escoras).</p> <p style="text-align: center;">$b_w = b$ $b_w = 0,5H + 0,65a; a \leq h$</p> <p style="text-align: center;"> B Região de continuidade D Região de descontinuidade </p> <p style="text-align: center;"><i>Figura 57 – Determinação das forças de tração transversais num campo de tensões de compressão com armaduras.</i></p> <p>As forças de tração T são obtidas pelas expressões:</p> <p>1 – Regiões de descontinuidade parcial que cumpram o critério:</p> $b \leq \frac{H}{2}$ <p>Então:</p> $T = \frac{1}{4} \times \frac{b - a}{b} \times F$ <p>2 – Regiões de descontinuidade total que cumpram o critério:</p> $b > \frac{H}{2}$ <p>Então:</p> $T = \frac{1}{4} \times \left(1 - 0,7 \times \frac{a}{h}\right) \times F$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Método das escoras e tirantes | | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Nós | O REBAP é omissivo em relação aos nós de união entre escoras e tirantes. | <p>Os valores de cálculo das tensões de compressão no interior dos nós poderão ser determinados do seguinte modo:</p> <p>1 – Em nós comprimidos sem tirantes amarrados no nó:</p> $\sigma_{Rd,m\acute{a}x} = k_1 \times v' \times f_{cd}$  <p>Figura 58 – Nó comprimido sem tirantes</p> <p>O valor recomendado para k_1 é 1.</p> <p>2 – Em nós sujeitos à compressão e tração, com tirantes amarrados numa direção:</p> $\sigma_{Rd,m\acute{a}s} = k_2 \times v' \times f_{cd}$  <p>Figura 59 – Nó sujeito à compressão e à tração com armaduras numa direção.</p> <p>O valor recomendado para k_2 é 0.85.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Método das escoras e tirantes | | |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Nós (continuação)</p> | <p>O REBAP é omissivo em relação aos nós de união entre escoras e tirantes</p> | <p>3 – Em nós sujeitos à compressão e tração, com tirantes amarrados em mais de uma direção:</p> $\sigma_{Rd,más} = k_3 \times v' \times f_{cd}$  <p><i>Figura 60 – Nó sujeito à compressão e à tração com armaduras em duas direções.</i></p> <p>O valor recomendado para k_3 é 0.75.</p> <p>Os valores de cálculo da tensão de compressão poderão ser aumentados até 10% no caso em que pelo menos uma das condições seguintes se aplique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • É assegurada uma compressão triaxial; • Todos os ângulos entre escoras e tirantes são $\geq 55^\circ$; • As tensões nos apoios ou devidas a forças concentradas são uniformes e o nó é cinto por armaduras transversais; • A armadura está disposta em várias camadas; • O nó está confinado de forma fiável por uma disposição particular de apoio ou por atrito. <p>Os nós em compressão triaxial poderão ser verificados recorrendo das expressões:</p> <p>i) Para $\sigma_2 \leq 0.05 \times f_{ck}$</p> $f_{ck,c} = f_{ck} \times \left(1 + 5 \times \frac{\sigma_2}{f_{ck}}\right)$ <p>ii) Para $\sigma_2 > 0.05 \times f_{ck}$</p> $f_{ck,c} = f_{ck} \times \left(1 + 2.5 \times \frac{\sigma_2}{f_{ck}}\right)$ <p>Com um limite superior de:</p> $\sigma_{Rd,máx} \leq k_4 \times v' \times f_{cd}$ <p>O valor recomendado para k_4 é 3.</p> |

3.2.12 – Punçoamento

3.2.12.1 – Punçoamento segundo o REBAP

O REBAP trata a questão do punçoamento no capítulo VII, subcapítulo C. Deixando para o capítulo XI subcapítulo B umas breves considerações acerca da disposição destas armaduras em lajes maciças. Seguidamente é identificado e analisado o artigo presente no REBAP a incluir na presente comparação.

- Artigo 54.º - Punçoamento

O presente artigo apresenta os métodos de cálculo para a armadura de punçoamento ao nível do dimensionamento da armadura assim como algumas regras de disposição de armaduras.

- Artigo 110.º - Armaduras de punçoamento

Este artigo apresenta os critérios de disposição das armaduras de punçoamento tanto para estribos como para varões inclinados.

3.2.12.2 – Punçoamento segundo o EC2

O EC2 trata o punçoamento no capítulo 6, ponto 6.4. Seguidamente são identificados e analisados os pontos do EC2 a incluir na presente comparação.

- Ponto 6.4.1.º - Generalidades

As regras indicadas nesta secção abrangem o punçoamento de lajes maciças, lajes aligeiradas com zonas maciças sobre pilares e fundações.

O punçoamento pode resultar de uma carga concentrada ou de uma reação aplicada a uma área relativamente pequena de uma laje ou de uma fundação.

- Ponto 6.4.2.º - Distribuição das ações e primeiro perímetro de controlo

O presente ponto explana a determinação dos perímetros de controlo para um conjunto de diversas situações.

- Ponto 6.4.3.º - Verificação da resistência ao punçoamento

O presente ponto apresenta as diversas verificações a cumprir ao nível das resistências máximas permitidas.

- Ponto 6.4.4.º - Resistência ao punçoamento de lajes e de sapatas de pilares sem armaduras de punçoamento

Este ponto define a resistência máxima ao punçoamento do elemento sem armaduras de punçoamento.

- Ponto 6.4.5.º - Resistência ao punçoamento de lajes e de sapatas de pilares com armaduras de punçoamento

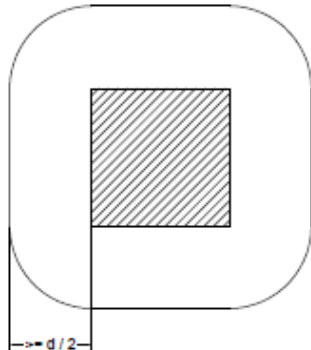
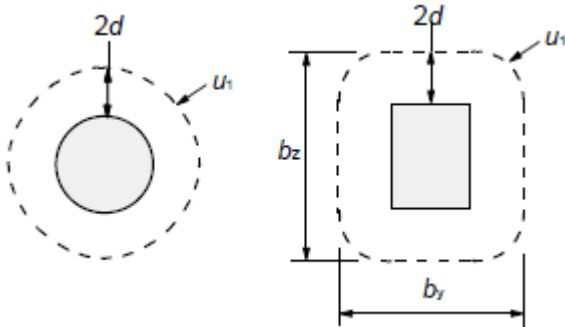
Este ponto define a resistência máxima ao punçoamento do elemento com armaduras de punçoamento.

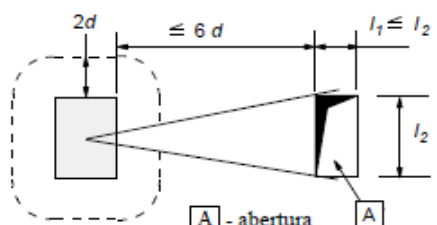
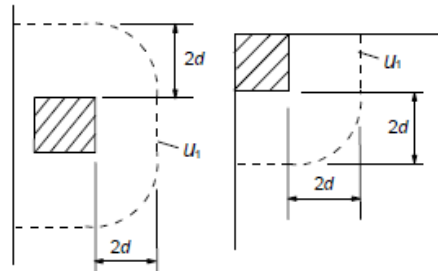
3.2.12.3 – Tabela comparativa entre regulamentos – Punçoamento

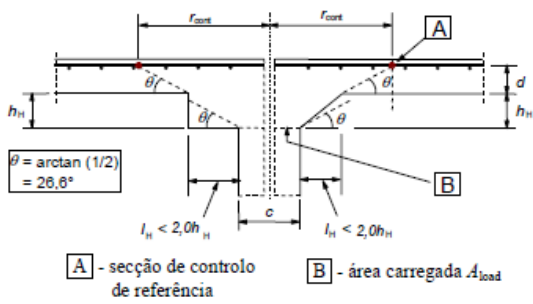
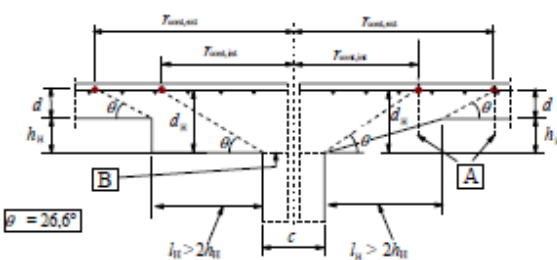
Nesta secção é apresentada uma tabela, comparando os artigos já identificados. O conteúdo da tabela é algo sucinto, dando destaque às principais regras e expressões de cálculo de cada artigo.

As tabelas do punçoamento foram adaptadas do trabalho já realizado “Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos” da autoria de N. Gomes.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Generalidades | <p>O REBAP apresenta os artigos referentes à determinação do valor de cálculo do esforço resistente de punçoamento, excepto para as situações em que as forças não atuem em zonas da laje em que o esforço transversal devido a outras forças concentradas, e ainda desde que a área carregada não diste menos de 5 vezes de um bordo livre (ou bordo de abertura).</p> | <p>O punçoamento pode resultar de uma carga concentrada ou de uma reação aplicada a uma área relativamente pequena, designada por área carregada, A_{load}.</p> <p>As regras apresentadas ao longo da presente comparação são formuladas, principalmente, para o caso de cargas uniformemente distribuídas. Em casos especiais, como, por exemplo, sapatas, a carga no interior do perímetro de controlo contribui para a resistência do sistema estrutural e poderá ser deduzida na determinação do valor de cálculo da tensão de punçoamento.</p> |
| Esforço transversal resistente sem armaduras de punçoamento | <p>O valor de cálculo do esforço resistente de punçoamento, V_{Rd}, se não existirem armaduras específicas para resistir ao esforço, é dado por:</p> $V_{Rd} = v_{Rd} \times u$ <p>Em que:</p> $v_{Rd} = \eta \times \tau_1 \times d$ <p>Sendo:</p> <p>u – Perímetro do contorno crítico de punçoamento, definido por uma linha fechada envolvendo a área carregada a uma distância não inferior a $d/2$;</p> <p>η – Coeficiente cujo valor é dado por:</p> $\eta = (1.6 - d) \geq 1$ <p>τ_1 – Tensão cujo valor é indicado no quadro VI.</p> | <p>O valor resistência ao punçoamento, $V_{Rd,c}$, é dado por:</p> <p>1 – Para lajes:</p> $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \times \sigma_{ep}$ $v_{Rd,c} \geq (v_{min} + k_1 \times \sigma_{ep})$ <p>2 – Para sapatas:</p> $v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} \times \frac{2 \times d}{a}$ $v_{Rd,c} \geq \left(v_{min} \frac{2 \times d}{a} \right)$ |

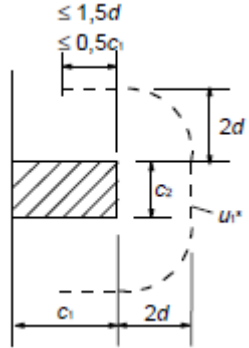
| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Esforço transversal resistente com armaduras de punçoamento</p> | <p>O valor de cálculo do esforço resistente de punçoamento, V_{Rd}, se existirem armaduras específicas para resistir ao esforço, é dado por:</p> $V_{Rd} = \frac{4}{3} \times V_{wd}$ <p>Em que:</p> $v_{Rd} = \eta \times \tau_1 \times d$ <p>Sendo:</p> <p>V_{wd} – correspondente à tensão f_{sdy}, mas não excedendo 350 MPa.</p> <p>Em caso algum o valor do esforço resistente obtido poderá ser exceder 1.6 o valor definido por:</p> $V_{Rd} = v_{Rd} \times u$ | <p>O valor resistência ao punçoamento, no caso em que seja necessária armadura de punçoamento, $V_{Rd,cs}$, é calculada de acordo com a expressão:</p> $v_{Rd,cs} = 0.75 \times v_{Rd,c} + 1.5 \times \left(\frac{d}{s_r}\right) \times A_{sw} \times f_{ywd,ef} \times \left(\frac{1}{u_1 \times d}\right) \times \sin \alpha$ <p>Sendo:</p> <p>A_{sw} – Área de um perímetro de armaduras de punçoamento; s_r – Espaçamento radial dos perímetros de armaduras de punçoamento; u_1 – Primeiro perímetro de controlo; α – Ângulo entre as armaduras de punçoamento e o plano da laje; $f_{ywd,ef}$ – Valor de calculo da tensão efetiva de cedência das armaduras, dada por:</p> $f_{ywd,ef} = 250 + 0.25 \times d \leq f_{ywd}$ |
| | <p>Primeiro perímetro de controlo</p> <p>O REBAP define apenas a distância mínima para o perímetro de controlo crítico de punçoamento, definido por uma linha fechada envolvendo a área carregada a uma distância não inferior a $d/2$ e cujo perímetro é mínimo.</p>  <p><i>Figura 61 – Perímetro de controlo - REBAP</i></p> | <p>O EC 2 aborda o primeiro perímetro de controlo no punçoamento da seguinte forma:</p> <p>1 - Em geral, considera-se que o primeiro perímetro de controlo, u_1, é definido a uma distância $2 \times d$ da área carregada, tal como ilustrado na figura seguinte:</p>  <p><i>Figura 62 – Perímetro de controlo - EC2</i></p> <p>2 - Nos casos em que a força concentrada seja equilibrada por uma pressão elevada ou pelos efeitos de uma ação ou reação a uma distância inferior ou igual a $2 \times d$ do contorno da área carregada, deverão ser considerados perímetros de controlo a uma distância inferior a $2 \times d$.</p> |

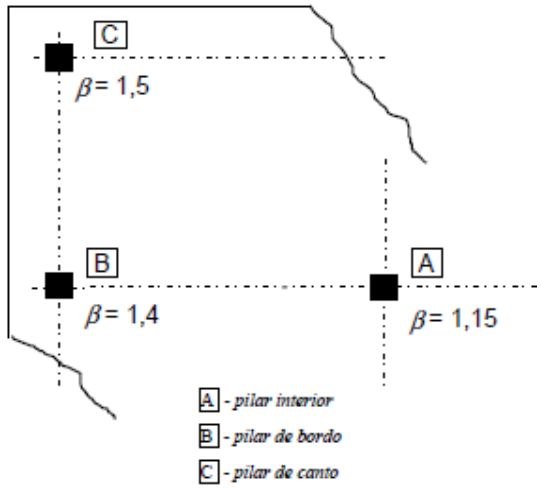
| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|-----------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Primeiro perímetro de controlo (continuação)</p> | | <p>3 - Nos casos de existir áreas carregadas junto de aberturas, se a menor distância entre o contorno da área carregada e o bordo da abertura for inferior ou igual a $6 \times d$, não se considera a parte do perímetro de controlo a parcela compreendida entre as duas tangentes à abertura traçadas com origem no centro da área carregada, tal como é visível na próxima ilustração:</p>  <p>Figura 63 – Perímetro de controlo junto a aberturas.</p> <p>3 – Para uma área carregada localizada junto a um bordo livre ou a um canto, o perímetro de controlo deverá ser considerado conforme representado na imagem seguinte:</p>  <p>Figura 64 – Perímetro de controlo para áreas carregadas junto a um bordo livre ou a um canto.</p> <p>4 – Para lajes ou sapatas de espessura variável que não sejam fundações em degrau, poderá considerar-se que a altura útil é a altura no perímetro da área carregada.</p> <p>5 – No caso de lajes sobre capitéis circulares para os quais $l_H < 2h_H$ (como demonstrado na figura 65), só é necessário verificar as tensões de punçoamento na secção de controlo exterior ao capitel. A distância desta secção a partir do baricentro do pilar, r_{cont}, poderá ser considerada igual a:</p> $r_{cont} = 2 \times d + l_H + 0.5 \times c$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|----------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Primeiro perímetro de controle (continuação)</p> | |  <p>A - secção de controlo de referência B - área carregada A_{load}</p> <p><i>Figura 65 – Laje sobre capitel com $l_H < 2h_H$</i></p> <p>6 – No caso de um pilar retangular com um capitel retangular com $l_H < 2h_H$ (como demonstrado na figura 65) e as dimensões l_1 e l_2 ($l_1 = c_1 + 2 \times l_{H1}$, $l_2 = c_2 + 2 \times l_{H2}$, $l_1 \leq l_2$). A distância desta secção a partir do baricentro do pilar, r_{cont}, poderá ser considerado o menor dos seguintes valores:</p> $r_{cont} \leq \begin{cases} 2 \times d + 0.56 \times \sqrt{l_1 \times l_2} \\ 2 \times d + 0.69 \times l_1 \end{cases}$ <p>7 – No caso de lajes sobre capitéis circulares para os quais $l_H > 2h_H$, deverão verificar-se as secções de controlo, tanto no interior do capitel como na laje.</p>  <p><i>Figura 66 – Laje sobre capitel com $l_H > 2h_H$</i></p> <p>8 – No caso de pilares circulares, as distâncias desde o centro de gravidade do pilar até às secções de controlo poderão ser iguais a:</p> $r_{cont} = 2 \times d + l_H + 0.5 \times c$ $r_{cont} = 2 \times (d + h_H) + 0.5 \times c$ |

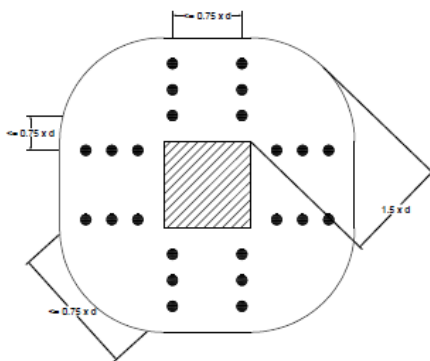
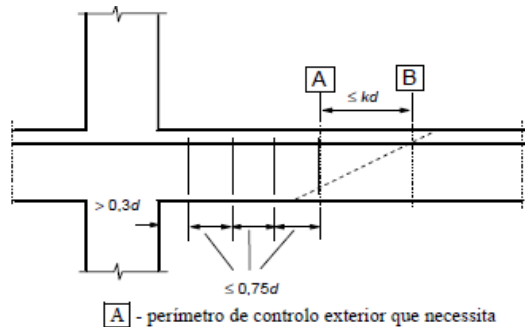
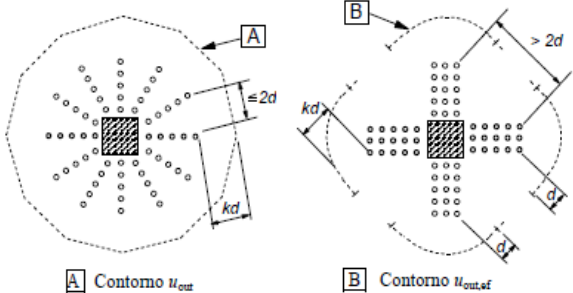
| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|----------|---|----------|----------|------|------|------|------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 | | | | | | | | | | |
| Verificação de segurança ao punçoamento | <p>A verificação da segurança ao punçoamento consistirá em satisfazer, ao longo do contorno crítico, a condição:</p> $v_{Rd} \geq v_{sd}$ <p>No caso de a força de punçoamento, V_{sd}, atuar sem excentricidade relativamente a área carregada, v_{sd} pode ser considerado constante ao longo do contorno crítico e com o valor:</p> $v_{sd} = \frac{V_{sd}}{u}$ <p>Se, porém, a força V_{sd} atuar excentricamente, o valor de v_{sd} é variável ao longo do contorno crítico de punçoamento, podendo considerar-se os seguintes valores para a verificação de segurança:</p> <p>1) Área carregada de contorno circular:</p> $v_{sd} = \frac{V_{sd}}{u} \times \left(1 + \frac{2 \times e }{d_0}\right)$ <p>2) Área carregada de contorno circular:</p> $v_{sd} = \frac{V_{sd}}{u} \times \left(1 + 1.5 \times \frac{ e_x + e_y }{\sqrt{b_x \times b_y}}\right)$ | <p>i) A verificação da segurança ao punçoamento, no perímetro da área carregada, não deverá ser excedido o valor máximo de tensão de punçoamento:</p> $v_{Ed} \leq v_{Rd,máx}$ <p>ii) A verificação seguinte está relacionada com a necessidade de utilizar armadura de punçoamento, pois, no caso de v_{Ed} exceder o valor $v_{Rd,c}$ para a secção considerada, deverá adoptar-se uma armadura de punçoamento.</p> $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ <p>2 - No caso da reação de apoio ser excêntrica em relação ao perímetro de controlo, a tensão de punçoamento máxima deverá ser igual a:</p> <p>A tensão v_{Ed} é calculado da seguinte forma:</p> $v_{Ed} = \beta \times \frac{V_{Ed}}{u_i \times d}$ <p>Em que:</p> <p>u_i - Perímetro de controlo do pilar; Pilar de bordo: $u_0 = c_2 + 3 \times d \leq c_2 + 2 \times c_1$; Pilar de canto: $u_0 = 3 \times d \leq c_1 + c_1$. β – Coeficiente de majoração relativo à excentricidade da carga, obtido por:</p> <p>a) Pilares retangulares em que a carga é excêntrica em relação a um eixo:</p> $\beta = 1 + k \times \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \times \frac{u_1}{W_1}$ <p>Sendo:</p> <p>k – Coeficiente dependente da relação entre as dimensões do pilar c_1 e c_2. O seu valor é função da proporção do momento não equilibrado transmitido por forças de corte não uniformes e por flexão e torção, conforme é demonstrado no quadro seguinte:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>c_1/c_2</th> <th>≤ 0.5</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>≥ 3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>k</td> <td>0.45</td> <td>0.60</td> <td>0.70</td> <td>0.80</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tabela 12 – Valores para o coeficiente “k”</p> | c_1/c_2 | ≤ 0.5 | 1 | 2 | ≥ 3 | k | 0.45 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
| | c_1/c_2 | ≤ 0.5 | 1 | 2 | ≥ 3 | | | | | | | |
| k | 0.45 | 0.60 | 0.70 | 0.80 | | | | | | | | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|----------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Verificação de segurança ao punçoamento (continuação) | | <p>W_1 – Corresponde a uma distribuição de tensões tangenciais:</p> $W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 \times c_2 + 4 \times c_2 \times d + 16 \times d^2 + 2 \times \pi \times d \times c_1$ <p>b) Pilares circulares em que a caga é excêntrica em relação a um eixo:</p> $\beta = 1 + 0.6 \times \pi \times \frac{e}{D + 4 \times d}$ <p>Sendo:</p> <p>D – Diâmetro do pilar circular; e – Excentricidade da carga aplicada e = M_{ED}/V_{ED}.</p> <p>c) Pilares retangulares interior em que a caga é excêntrica em relação aos dois eixos:</p> $\beta = 1 + 1.8 \times \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$ <p>Sendo:</p> <p>e_y e e_z – Excentricidades M_{Ed}/V_{Ed} segundo os eixos y e z, respetivamente; b_y e b_z – Dimensões do perímetro de controlo.</p> <p>d) Pilares circulares interior em que a caga é excêntrica em relação aos dois eixos:</p> $\beta = 1 + 0.6 \times \pi \times \frac{e}{D + 4 \times d}$ <p>Sendo:</p> <p>D – Diâmetro do pilar circular; e – Excentricidade da carga aplicada e = M_{ED}/V_{ED}, com M_{Ed} sendo a resultante entre $M_{Ed,x}$ e $M_{Ed,y}$.</p> <p>3 - No caso de ligações de pilares de bordo, em que a excentricidade na direção perpendicular ao bordo da laje é dirigida para o interior e não há excentricidade na direção paralela ao bordo, poderá considerar-se o esforço de punçoamento uniformemente distribuído ao longo do perímetro de controlo u_1, como representado na figura 67.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|----------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| Verificação de segurança ao punçoamento (continuação) | |  <p>Figura 67 – Perímetro do primeiro perímetro de controlo reduzido.</p> <p>a) Quando existe excentricidade nas duas direções ortogonais, o β poderá ser determinado pela seguinte expressão:</p> $\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \times \frac{u_1}{W_1} \times e_{par}$ <p>Sendo:</p> <p>e_{par} – Excentricidade na direção paralela ao bordo da laje resultante de um momento em torno de um eixo perpendicular ao bordo da laje;</p> <p>k – Relação entre as dimensões do pilar, com a relação c_1/c_2, presente na tabela 12 apresentado anteriormente, substituída por $c_1 / 2 \times c_2$;</p> <p>No caso de um pilar retangular:</p> $W_1 = \frac{c_1^2}{4} + c_1 \times c_2 + 4 \times c_1 \times d + 8 \times d^2 + 2 \times \pi \times d \times c_2$ <p>b) No caso da excentricidade na direção perpendicular ao bordo da laje não ser dirigida para o interior, aplica-se a expressão:</p> $\beta = 1 + k \times \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \times \frac{u_1}{W_1}$ <p>No cálculo de W_1, a distância (e) deverá ser medida a partir do centro de gravidade do perímetro de controlo.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento | | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Verificação de segurança ao punçoamento (continuação)</p> | | <p>4 - No caso de ligações de pilares de canto, em que a excentricidade é dirigida para o interior da laje, admite-se que o esforço de punçoamento é uniformemente distribuído ao longo do perímetro de controlo reduzido, u_{1*}. O valor de β poderá ser considerado igual a:</p> $\beta = \frac{u_1}{u_{1*}}$ <p>No caso de a excentricidade ser dirigida para o exterior, aplica-se a expressão:</p> $\beta = 1 + k \times \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \times \frac{u_1}{W_1}$ <p>5 - No caso de estruturas em que a estabilidade lateral não depende do funcionamento de pórticos formado por lajes e pilares, em que os vãos dos tramos adjacentes não diferem mais de 25%, poderão utilizar-se valores aproximados de β, valores esses que estão diretamente ligados à localização dos pilares na laje, tal como demonstrado na figura seguinte:</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 68 – Valores aproximados</i></p> |
| <p>Disposição da armadura de punçoamento</p> | <p>A armadura de punçoamento, constituída por estribos ou varões inclinados, deve ser distribuída em toda a zona da laje compreendida entre o contorno da área diretamente carregada a um contorno exterior a este, situado à distância de $1.5 \times d$, e os varões que constituem tal armadura não devem ser afastados entre si mais de $0.75 \times d$ em qualquer direção, tal como demonstrado na figura 69.</p> | <p>Quando são necessárias armaduras de punçoamento, estas deverão ser colocadas entre a área carregada ou o pilar de apoio e $k d$ no interior do perímetro de controlo a partir do qual a armadura de punçoamento deixa de ser necessária. Deverão ser constituídas, pelo menos, por dois perímetros de estribos de espaçamento não superior a $0.75 \times d$, tal como ilustrado na figura 70.</p> |

Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Punçoamento

| Artigos | REBAP | Eurocódigo 2 |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Disposição da armadura de punçoamento (continuação)</p> |  <p><i>Figura 69 – Disposição da armadura de punçoamento.</i></p> <p>No caso de varões inclinados, a distância $1.5 \times d$ que define aquele contorno exterior deve ser referida aos pontos em que os varões intersectam o plano médio da laje; além disso, só devem ser considerados como eficazes os varões que atravessam a zona da laje diretamente carregada.</p> | <p>O espaçamento entre ramos dos estribos de um perímetro não deverá ser superior a $1.5 \times d$ no interior do primeiro perímetro de controlo (localizado a menos de $2 \times d$ da área carregada) e não deverá ser superior a $2 \times d$ para os perímetros exteriores ao primeiro perímetro de controlo, tal como ilustrado na figura 71.</p>  <p>A - perímetro de controlo exterior que necessita de armaduras de punçoamento</p> <p>B - primeiro perímetro de controlo que não necessita de armaduras de punçoamento</p> <p><i>Figura 70 – Espaçamento entre ramos.</i></p> <p>Quando é necessária armadura de punçoamento, a área de um ramo de um estribo (ou equivalente), $A_{sw,min}$, é obtida pela expressão:</p> $A_{sw,min} \times \frac{1.5 \times \sin \alpha + \cos \alpha}{s_r \times s_t} \geq 0.08 \times \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yk}}}$ <p>O perímetro de controlo para o qual já não será necessária armadura de punçoamento, u_{out}, deverá ser calculado pela expressão :</p> $u_{out,ef} = \frac{\beta \times V_{Ed}}{d \times V_{Rd,c}}$  <p>A Contorno u_{out}</p> <p>B Contorno $u_{out,ef}$</p> <p><i>Figura 71 – Perímetros de controlo para pilares interiores.</i></p> |

4 – Dimensionamento dos elementos de betão armado no PAC-Pórticos

4.1 – Introdução à estrutura de dimensionamento

Como já referido anteriormente, o PAC-Pórticos é um programa informático longo e complexo, cujo código é composto por diversas linguagens de programação, tais como, Pascal, Fortran, Basic, entre outras. A parte do programa correspondente ao dimensionamento dos elementos de betão armado tratada neste trabalho está programada em Fortran.

Fortran deriva de “*FORmula TRANslation*” é considerada a primeira linguagem de programação de alto nível amplamente usada, tendo sido introduzida em 1958. Apesar de ter surgido na década de 50, ainda é muito utilizada nos dias de hoje em programação científica (cálculo numérico), principalmente na área da física ou na engenharia civil especialmente na reutilização de código já existente (Legacy code).

Por ser uma linguagem de programação de alto nível, torna-se de certa forma exequível a sua modificação e atualização, possibilitando assim, tal como se pretendia no trabalho aqui apresentado, adaptar os critérios de dimensionamento de elementos de betão armado do PAC-Pórticos.

Os processos de dimensionamento estão organizados de forma isolada, separando os diferentes constituintes de um pórtico, ou seja, por vigas, pilares e sapatas. Sendo que, para cada um destes há uma rotina de cálculo principal e diversas sub-rotinas adjacentes.

A ligação destes processos de dimensionamento com a restante parte do programa está efetuada de dois modos, sendo estes:

- ❖ O primeiro corresponde à ligação com a parte da leitura de parâmetros fundamentais para a realização do dimensionamento. Estes parâmetros são retirados de ficheiros que são criados na fase de inserção da estrutura no PAC-Pórticos, ou seja, quando o utilizador cria a estrutura a dimensionar no programa, este vai criando certos ficheiros automaticamente com todos os dados da estrutura que posteriormente são lidos pela parcela correspondente ao dimensionamento possibilitando assim uma ligação eficaz entre as partes do programa.
- ❖ O segundo corresponde à ligação com a parte da apresentação de resultados obtidos nas rotinas de dimensionamento. Estes resultados são apresentados em ficheiros, que tal como os primeiros, estão organizados de uma forma lógica, que posteriormente são lidos por uma outra parcela do programa que cria os ficheiros (.DXF) de forma automática.

Previamente à realização das alterações dos critérios de dimensionamento pretendidas, foi estudada a organização das rotinas de cálculo para cada peça, assim como a função de cada uma destas. É com base nesse estudo, que seguidamente, recorrendo a fluxogramas, é apresentada a estrutura e organização das rotinas de cálculo relativas aos critérios de dimensionamento do PAC-Pórticos.

4.2 – Rotinas e sub-rotinas

4.2.1 – Organização e apresentação do código relativo às vigas

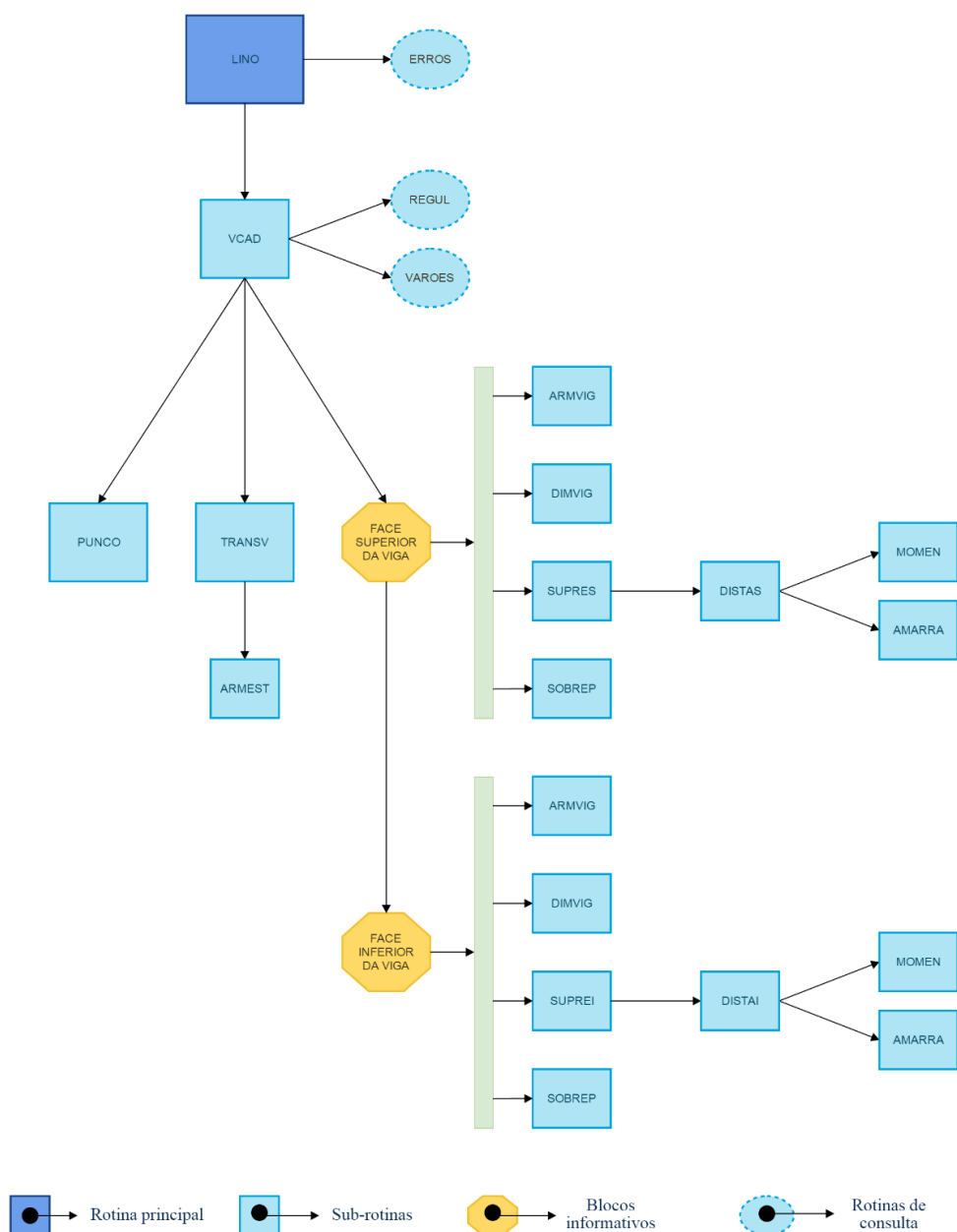


Figura 72 – Fluxograma do código de dimensionamento das vigas.

Como é visível no fluxograma apresentado na figura 72, o dimensionamento das vigas é realizado pela rotina principal LINO que chama um conjunto de outras sub-rotinas, cada uma destas com funções específicas. Seguidamente são apresentadas cada uma destas rotinas, assim como as suas principais funcionalidades:

- ❖ LINO – É a rotina principal de dimensionamento das vigas onde são lidos os dados globais da estrutura porticada em estudo, e com recurso às restantes rotinas, dimensiona as vigas e prepara os desenhos destas em formato (.DXF).
- ❖ VCAD – É a sub-rotina subsequente da rotina principal. Começa por definir os valores regulamentares estabelecidos nas rotinas de consulta (REGUL e VAROES) calculando os pontos de momento nulo e máximos (positivo e negativo) e com base nestes, recorrendo às restantes sub-rotinas, dimensiona as armaduras longitudinais e transversais das vigas.
- ❖ ARMVIG – Esta sub-rotina calcula a área de armadura longitudinal mínima, máxima e de cálculo para as vigas usando expressões simplificadas.
- ❖ DIMVIG – Esta sub-rotina efetua a seleção e a disposição das armaduras longitudinais das vigas para a área de aço calculada em ARMVIG.
- ❖ SUPRES – Esta sub-rotina efetua a dispensa da armadura longitudinal na face superior das vigas e lajes fungiformes com base nos resultados obtidos nas sub-rotinas subsequentes.
- ❖ SUPREI – Esta sub-rotina efetua a dispensa da armadura longitudinal na face inferior das vigas e lajes fungiformes com base nos resultados obtidos nas sub-rotinas subsequentes.
- ❖ SUBREP – Esta sub-rotina efetua a verificação da sobreposição e interrupção das armaduras dispensadas.
- ❖ DISTAS – Esta sub-rotina calcula as distâncias de dispensa das armaduras na face superior em conformidade com os momentos na peça.
- ❖ DISTAI – Esta sub-rotina calcula as distâncias de dispensa das armaduras na face inferior em conformidade com os momentos na peça.
- ❖ TRANSV – Esta sub-rotina determina a resistência da peça ao esforço transversal, e em caso de necessidade, em conjunto com a sub-rotina ARMEST, dimensiona a armadura de esforço transversal para o elemento.
- ❖ ARMEST – Esta sub-rotina define os diâmetros da armadura transversal e calcula o espaçamento máximo longitudinal e transversal dos estribos.
- ❖ MOMEN – Esta sub-rotina calcula o momento reduzido e o momento resistente correspondente à armadura longitudinal dimensionada para o elemento.
- ❖ AMARRA – Esta sub-rotina determina o comprimento de amarração das armaduras ordinárias.
- ❖ REGUL – Esta sub-rotina serve de consulta de parâmetros correspondentes às classes de resistência do aço e do betão.

- ❖ VAROES – Esta sub-rotina serve de consulta de parâmetros correspondentes aos varões de aço, desde os diâmetros, áreas de secção transversal e espaçamentos admissíveis.

4.2.2 – Organização e apresentação do código relativo aos pilares

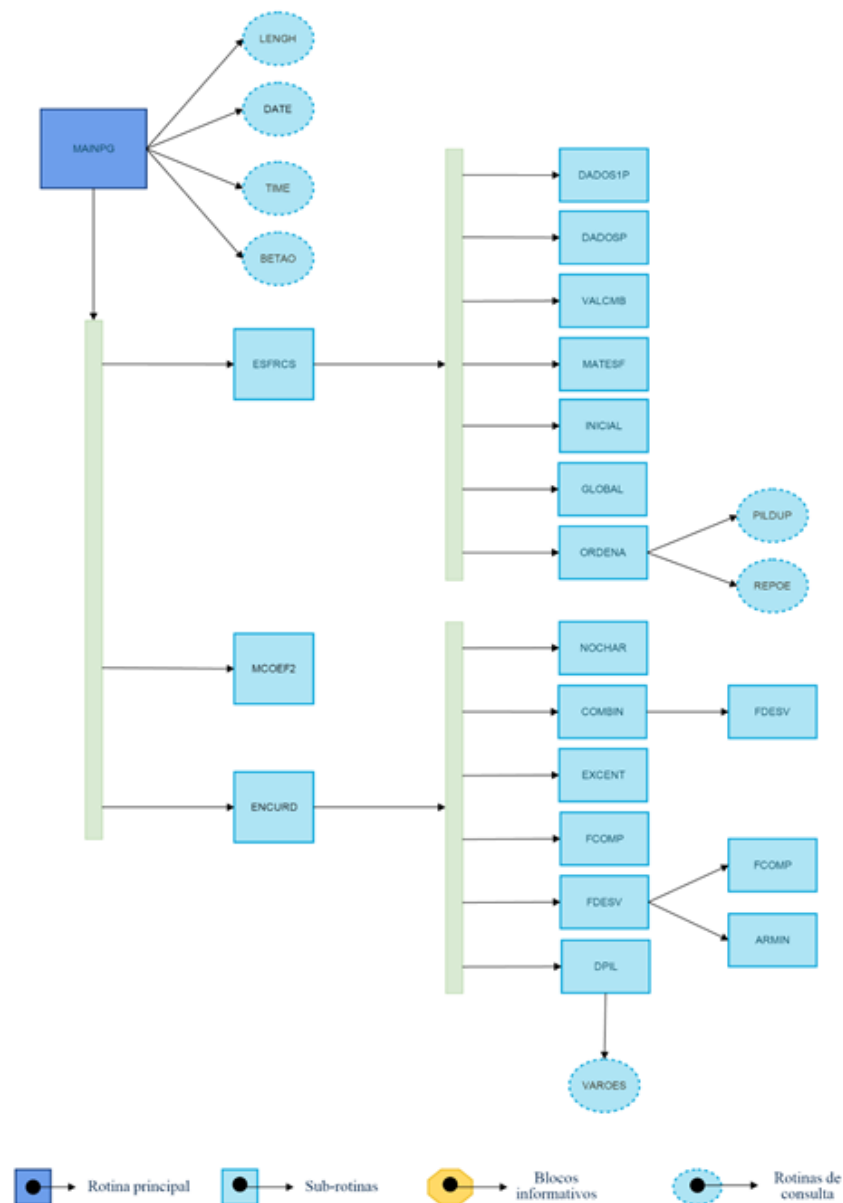


Figura 73 – Fluxograma do código de dimensionamento dos pilares.

Para o dimensionamento dos pilares, tal como foi atrás efetuado para as vigas, é possível visualizar no fluxograma apresentado na figura 73, que o dimensionamento dos pilares é realizado pela rotina principal MAINPG em conjunto com outras sub-rotinas, cada uma destas com funções específicas. Seguidamente, tal como efetuado para as vigas, são apresentadas cada uma destas rotinas assim como as suas principais funcionalidades:

- ❖ MAINPG – É a rotina principal de dimensionamento dos pilares. Esta lê os dados globais da estrutura porticada em estudo, e com recurso às restantes rotinas, dimensiona os pilares e prepara os desenhos destes em formato (.DXF).
- ❖ ESFRCS – Esta sub-rotina, recorrendo a outras subsequentes chamadas ao longo desta, calcula para cada solicitação e em cada direção os esforços nos pilares da estrutura.
- ❖ MCOEF2 – Esta sub-rotina é de escrita e armazenamento de dados que serão posteriormente utilizados na sub-rotina ENCURD.
- ❖ ENCURD – Esta sub-rotina, em conjunto com as seguintes chamadas ao longo desta, dimensiona os pilares de acordo com os esforços obtidos nas sub-rotinas precedentes e de acordo com a mobilidade da estrutura em estudo.
- ❖ DADOS1P – Esta sub-rotina procede à leitura de parâmetros fundamentais da estrutura, tais como, número de elementos, nós, etc.
- ❖ DADOSP – Esta sub-rotina procede à leitura dos dados necessários para a análise de encurvadura dos pilares.
- ❖ VALCMB – Esta sub-rotina interpreta os dados provenientes de um ficheiro de resultados em código binário (.DIR), com uma leitura dos esforços para todas as ações, identificando e adaptando os esforços no caso de se tratar de lajes fungiformes.
- ❖ MATESF – Esta sub-rotina ordena os esforços e realiza a matriz de esforços correspondente aos elementos.
- ❖ INICIAL – Esta sub-rotina calcula áreas e inércias das barras, deteta também as barras que são pilares calculando posteriormente os parâmetros dados pela relação entre a soma das rigidezes de flexão dos pilares que concorrem no nó e a soma das rigidezes de flexão das vigas que aí também concorrem.
- ❖ GLOBAL – Esta sub-rotina constrói as matrizes globais.
- ❖ ORDENA – Esta sub-rotina ordena a matriz global em função das extremidades mais baixas dos pilares.
- ❖ NOCHAR – Esta sub-rotina transforma os valores para números inteiros.
- ❖ COMBIN – Esta sub-rotina calcula os valores de esforços e áreas de armaduras de cálculo para todas as combinações, recorrendo à sub-rotina FDESV, quando necessário, para o cálculo da área de armadura de cálculo para uma dada combinação.
- ❖ EXCENT – Esta sub-rotina verifica se há dispensa da verificação da encurvadura e calcula também as excentricidades adicionais assim como o momento de segunda ordem a adicionar ao elemento.
- ❖ FCOMP – Esta sub-rotina realiza os cálculos dos elementos sujeitos à flexão composta, já contabilizando a excentricidade global, obtendo uma área de armadura de cálculo.

- ❖ FDESV – Esta sub-rotina realiza os cálculos dos elementos sujeitos à flexão desviada, já contabilizando a excentricidade global, obtendo as áreas de armadura de cálculo e mínima, recorrendo a diferentes sub-rotinas.
- ❖ DPIL – Esta sub-rotina começa por seleccionar a armadura longitudinal a colocar consoante a área de aço necessária. Posteriormente dimensiona as cintas a colocar no elemento e distribui a armadura obtida pelo pilar.
- ❖ ARMIN – Esta sub-rotina verifica se a área de aço utilizado é maior do que a mínima, para além disso, esta tem também a funcionalidade de, nos casos em que não é necessária armadura (a resistência do betão é suficiente), reduzir a secção do pilar usando um coeficiente de redução de secção.
- ❖ BETAO – Esta sub-rotina serve de consulta de parâmetros correspondentes às classes de resistência do betão.
- ❖ VAROES – Esta sub-rotina serve de consulta de parâmetros correspondentes aos varões de aço, sendo estes os diâmetros e as áreas de secção transversal de cada varão.

4.3 – Adaptação do código de dimensionamento do PAC-Pórticos

O PAC-Pórticos dimensiona os elementos de betão armado presentes num pórtico respeitando a regulamentação nacional, ainda em vigor, nomeadamente o REBAP e o RSAEEP. No entanto, como já mencionado anteriormente no presente documento, pretende-se que o mesmo possa também dimensionar as diferentes peças seguindo a regulamentação europeia.

Tendo em conta este objetivo, foram efetuadas as alterações nas diversas sub-rotinas de dimensionamento, tendo o cuidado de dar a possibilidade ao utilizador de escolher qual a regulamentação que pretende cumprir no dimensionamento dos diversos elementos.

Para além dos dois regulamentos considerados, foi prevista também a hipótese de futuramente ser possível adicionar o código de dimensionamento relativo a outros regulamentos internacionais.

4.3.1 – Ferramentas utilizadas na adaptação do código

Para realizar as alterações pretendidas, assim como para efetuar as verificações necessárias ao código alterado, foi necessário recorrer a diversos tipos de ferramentas, tais como, editores de código Fortran, instrumentos para realizar a compilação e *linkagem* do código, assim como um emulador do sistema operativo MS-DOS de modo a ser possível testar o novo código.

Relativamente aos editores de texto Fortran, ao longo do trabalho recorreu-se a três destes. O mais utilizado foi o Force 2.0 pois interpreta (sem qualquer extensão instalada no mesmo) de forma correta os caracteres ASCII acima do carácter 127 (DEL) do sistema operativo MS-DOS.

Para além do Force 2.0, foram usados também o Eclipse e o Notepad de forma a auxiliar da melhor forma o trabalho realizado.

Para a compilação e *linkagem* do código modificado, foram usados dois compiladores diferentes. Para as vigas foi usado o Open Watcom Fortran, pois trata-se do compilador mais rápido e prático disponível. Já para os pilares foi necessário usar o Microsoft Fortran, pois o código original fornecido continha varias características deste compilador e a possível adaptação para Watcom Fortran se revelou demasiado complexa.

Por fim, foi ainda utilizado um emulador do sistema operativo MS-DOS, pois o código de dimensionamento apenas pode ser testado neste ambiente.

O emulador utilizado foi o DOSBox, pois é uma ferramenta *freeware* que executa a grande maioria das aplicações desenvolvidas para o MS-DOS, possibilitando assim testar todas as modificações num computador possuidor de um sistema operativo atual.

4.3.2 – Alterações realizadas para as vigas

Foram realizadas alterações na maioria das sub-rotinas pertencentes ao grupo do dimensionamento das vigas. Estas modificações incidem no entanto especialmente em certas sub-rotinas, nomeadamente nas alusivas ao dimensionamento da armadura vertical e à interrupção da armadura longitudinal.

Para o dimensionamento das vigas segundo o EC2, é imprescindível considerar certos parâmetros que não são considerados na regulamentação nacional (REBAP). Foi conseqüentemente necessário adicionar estes mesmos parâmetros aos ficheiros (resultantes da parte correspondente à inserção da estrutura do PAC-Pórticos) que o código de dimensionamento lê. Estas alterações nos ficheiros de dados resultam obviamente em alterações nas rotinas que precedem a sua leitura.

Estes novos parâmetros são:

- ❖ α – Ângulo formado pela armadura de esforço transversal com o eixo da viga.
- ❖ θ – Ângulo formado pela escora comprimida de betão com o eixo da viga.

4.3.2.1 – Verificação do dimensionamento do PAC-Pórticos

Para compreender se as alterações realizadas foram corretamente inseridas, foi testado um pórtico em betão armado criado diretamente do PAC-Pórticos.

Seguidamente apresenta-se um exemplo de dimensionamento com cálculos manuais de acordo com ambos os regulamentos, o REBAP e o EC2. Os resultados obtidos são posteriormente comparados com o cálculo automático do PAC-Pórticos.

O pórtico em análise é uma estrutura simétrica, constituída por três pisos, como é visível na figura 74.

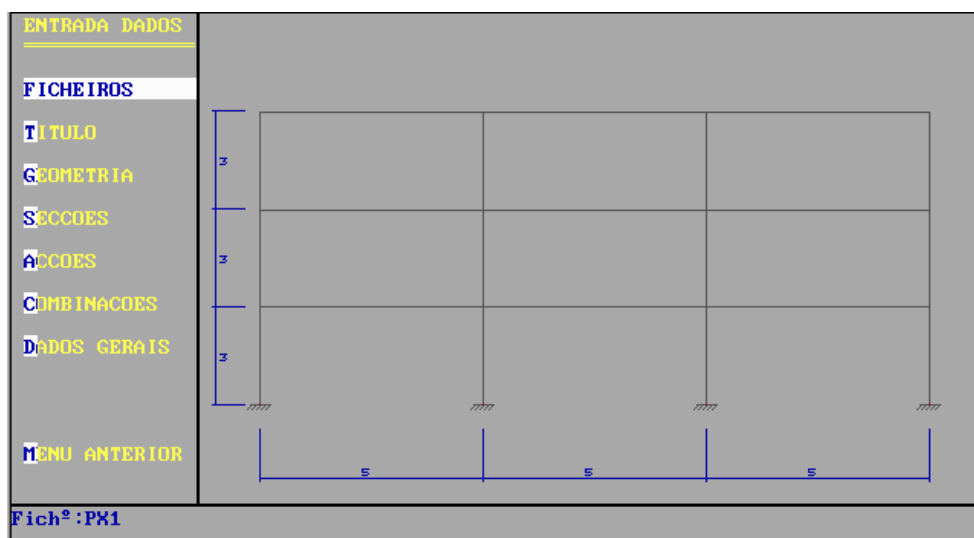


Figura 74 – Pórtico utilizado na análise.

As vigas têm uma secção retangular, tendo 0.30 m de base e 0.5 m de altura, os pilares são quadrados com 0.40 m de lado. Relativamente aos materiais constituintes, adotou-se um betão B25 (respeitando a nomenclatura do REBAP) ou C20/25 (segundo os eurocódigos), e o aço que terá a classe de resistência A400 (REBAP) ou S400 (eurocódigos).

Relativamente às cargas, consideraram-se duas cargas uniformemente distribuídas, a primeira de 36.87 kN/m referente às cargas permanentes, e uma segunda carga de 5 kN/m referente às sobrecargas.

Para o presente caso de estudo assumiu-se as combinações de ações pré-definidas no PAC-Pórticos, que correspondem às sugeridas no REBAP (visíveis na figura 75). Para o presente caso de estudo admitiu-se a primeira combinação que aplica um coeficiente de majoração de 1.5, tanto para as cargas permanentes como para as sobrecargas.

Considerando as cargas presentes na estrutura já majoradas, obtiveram-se os seguintes diagramas de esforços transversos e momentos fletores para a viga do primeiro piso:

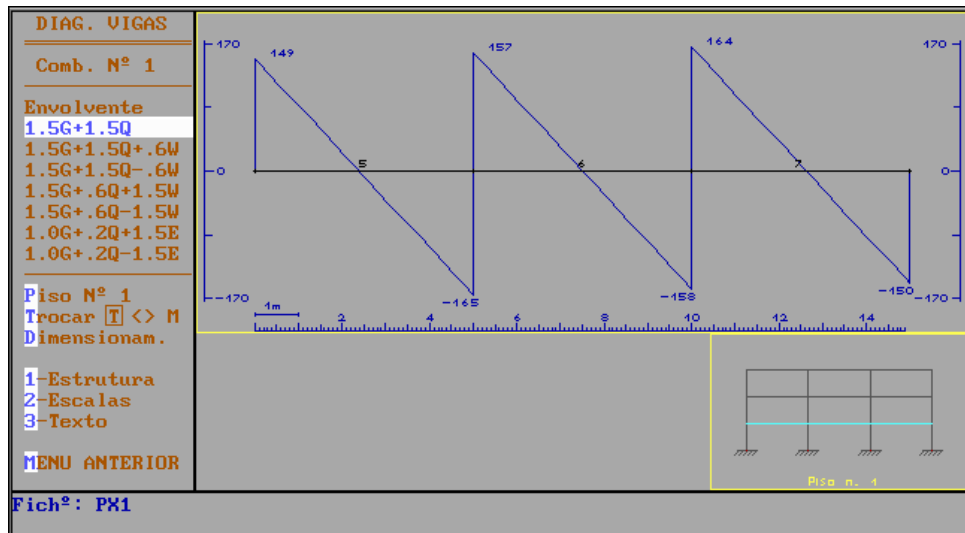


Figura 75 – Diagrama de esforços transversos para a viga do primeiro piso.

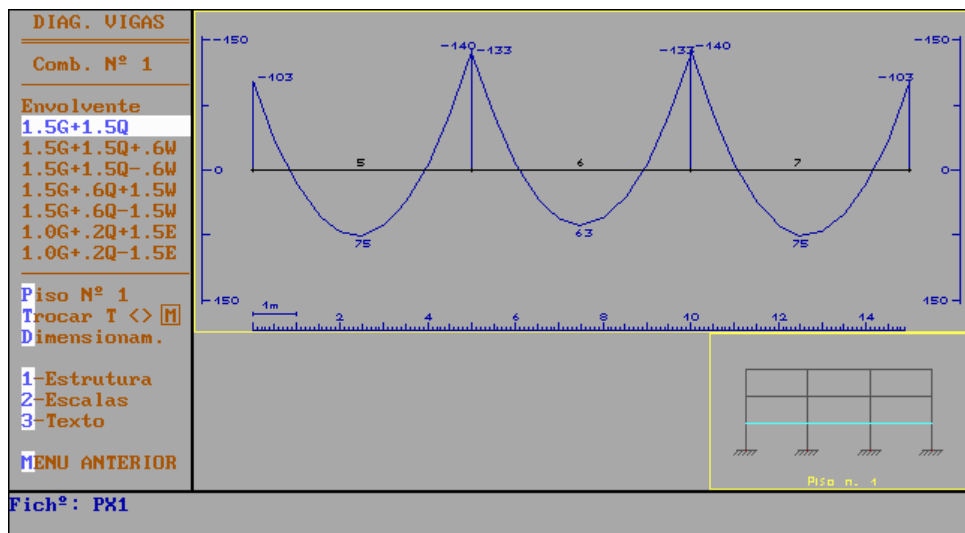


Figura 76 – Diagrama de momentos fletores na viga do primeiro piso.

O método de cálculo das armaduras longitudinais é idêntico para os dois regulamentos considerados, variando apenas o método para a determinação da armadura mínima.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Armaduras longitudinais | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p style="text-align: center;">O momento máximo positivo é de 75 kN.m.</p> <p>Sendo:</p> $\mu = \frac{75}{0.3 \times 0.45^2 \times 13300} = 0.0928$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $\mu = 0.0928 \rightarrow w = 0.0978$ $0.0978 = \frac{A_s}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} \rightarrow A_s = 5.1 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura inferior foi de 2 ϕ16 e 2 ϕ12 o que totaliza uma área de 6.28 cm^2.</p> <p style="text-align: center;">O momento máximo negativo é de 140 kN.m.</p> <p>Sendo:</p> $\mu = \frac{140}{0.3 \times 0.45^2 \times 13300} = 0.1733$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $\mu = 0.1733 \rightarrow w = 0.1913$ $0.1913 = \frac{A_s}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} \rightarrow A_s = 9.9 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura superior foi de 5 ϕ16 o que totaliza uma área de 10.05 cm^2.</p> <p style="text-align: center;">A armadura mínima:</p> $A_{s,min} = 0.3 \times 0.45 \times 0.15 \times 100 = 2.03 \text{ cm}^2$ <p style="text-align: center;">A armadura máxima:</p> $A_{s,máx} = 0.3 \times 0.5 \times 0.04 = 60 \text{ cm}^2$ | <p style="text-align: center;">O momento máximo positivo é de 75 kN.m.</p> <p>Sendo:</p> $\mu = \frac{75}{0.3 \times 0.45^2 \times 13300} = 0.0928$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $\mu = 0.0928 \rightarrow w = 0.0978$ $0.0978 = \frac{A_s}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} \rightarrow A_s = 5.1 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura inferior foi de 2 ϕ16 e 2 ϕ12 o que totaliza uma área de 6.28 cm^2.</p> <p style="text-align: center;">O momento máximo negativo é de 140 kN.m.</p> <p>Sendo:</p> $\mu = \frac{140}{0.3 \times 0.45^2 \times 13300} = 0.1733$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $\mu = 0.1733 \rightarrow w = 0.1913$ $0.1913 = \frac{A_s}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} \rightarrow A_s = 9.9 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura superior foi de 5 ϕ16 o que totaliza uma área de 10.05 cm^2.</p> <p style="text-align: center;">A armadura mínima:</p> $A_{s,min} = 0.26 \times \frac{2.2}{400} \times 0.3 \times 0.45 = 1.93 \text{ cm}^2$ $0.000193 \geq 0.0013 \times 0.3 \times 0.45 = 1.76 \text{ cm}^2$ <p style="text-align: center;">A armadura máxima:</p> $A_{s,máx} = 0.3 \times 0.5 \times 0.04 = 60 \text{ cm}^2$ |

Para o cálculo das armaduras transversais o método de cálculo é totalmente diferente para cada regulamento. Neste ponto, os resultados obtidos são bastante díspares.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Armaduras transversais | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>O valor de esforço transversal máximo é 158 kN. Este valor difere ligeiramente do valor exibido no diagrama retirado do PAC-Pórticos, devido a um arredondamento que o próprio programa executa.</p> <p>Sendo:</p> $V_{Rd} = V_{cd} + V_{wd}$ $V_{cd} = 650 \times 0.3 \times 0.45 = 87.75 \text{ kN}$ $V_{wd} = 158 - 87.75 = 70.25 \text{ kN}$ <p>Assumindo que o ângulo formado pelas armaduras de esforço transversal com o eixo do elemento é de 90°.</p> $70.25 = 0.9 \times 0.45 \times \left(\frac{A_{sd}}{s}\right) \times 348000$ $\left(\frac{A_{sd}}{s}\right) = 5 \text{ cm}^2/\text{m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura transversal na zona de esforço transversal máximo foi dois ramos de $\phi 8//.20$ (2 ramos), o que totaliza uma área de $5.03 \text{ cm}^2/\text{m}$.</p> <p>O espaçamento máximo entre armaduras de esforço transversal na zona onde ocorre o esforço máximo é:</p> $V_{sd} = 158 \text{ kN}$ $\frac{1}{6} \times 4000 \times 0.3 \times 0.45 = 90 \text{ kN}$ $\frac{2}{3} \times 4000 \times 0.3 \times 0.45 = 360 \text{ kN}$ <p>Logo trata-se de uma zona em que:</p> $\frac{1}{6} \times \tau_2 \times b_w \times d < V_{sd} < \frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d$ <p>Então:</p> $s \leq 0.5 \times 0.45 = 0.225 \text{ m}$ | <p>O valor de esforço transversal máximo é 158 kN. Este valor difere ligeiramente do valor exibido no diagrama retirado do PAC-Pórticos, devido a um arredondamento que o próprio programa executa.</p> <p>Assumindo que o ângulo formado pela escora comprimida de betão com o eixo da viga é de 45°.</p> $158 = 0.9 \times 0.45 \times \left(\frac{A_{sd}}{s}\right) \times 348000$ $\left(\frac{A_{sd}}{s}\right) = 11.2 \text{ cm}^2/\text{m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, a solução obtida para a armadura transversal na zona de esforço transversal máximo foi dois ramos de $\phi 8//.075$ (2 ramos), o que totaliza uma área de $13.4 \text{ cm}^2/\text{m}$.</p> <p>O espaçamento longitudinal máximo entre armaduras de esforço transversal é:</p> <p>Assumindo que o ângulo formado pelas armaduras de esforço transversal com o eixo do longitudinal é de 90°.</p> $s_{l,m\acute{a}x} = 0.75 \times 0.45 = 0.34 \text{ m}$ <p>O espaçamento transversal máximo entre ramos de estribos não deverá ser superior a:</p> $s_{t,m\acute{a}x} = 0.75 \times 0.45 = 0.34 \text{ m}$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Interrupção da armadura longitudinal | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>A zona considerada para a verificação é o apoio central da viga do lado esquerdo, com um momento máximo negativo de 140 kN.m, onde tem 5 $\phi 16$ de armadura superior. Considerando também que a armadura superior a meio vão é de 2 $\phi 16$.</p> <p>Sendo:</p> $V_{sd} \leq \frac{2}{3} \times \tau_2 \times b_w \times d$ $a_l = 0.45 \text{ m}$ <p>Tendo 2 $\phi 16$ de armadura superior a meio vão :</p> $2 \phi 16 = 4.02 \text{ cm}^2$ $w = \frac{0.000402}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} = 0.078$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $w = 0.078 \rightarrow \mu = 0.075$ $M_{Rd} = 0.075 \times 0.3 \times 0.45^2 \times 13300 = 60.6 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao MS Excel, foi possível obter uma equação aproximada referente à variação dos momentos da viga em estudo.</p> $M_{Sd} = -31.2 \times x^2 + 148.5 \times x - 103$ $M_{Sd} = -60.6 \rightarrow x_1 = 0.30 \text{ m}$ <p>Comprimento de amarração:</p> $l_b = \frac{16}{4} \times \frac{348}{2.4} = 580 \text{ mm}$ $l_{b,min} = \text{máx}\{10 \times \phi; 100 \text{ mm}; 0.3 \times l_b\} = 160 \text{ mm}$ $l_{b,net} = 580 \times 0.94 \times 1 = 545 \text{ mm}$ <p>A dispensa ocorre aproximadamente à seguinte distância do apoio:</p> $x = 0.545 + 0.30 + 0.45 = 1.30 \text{ m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 1.20 m. A diferença entre este valor e o calculado pode-se justificar devido às aproximações consideradas no cálculo.</p> | <p>A zona considerada para a verificação é o apoio central da viga do lado esquerdo, com um momento máximo negativo de 140 kN.m, onde tem 5 $\phi 16$ de armadura superior. Considerando também que a armadura superior a meio vão é de 2 $\phi 16$.</p> <p>Sendo:</p> $a_l = \frac{0.9 \times 0.45 \times (\cot(45) - \cot(90))}{2} = 0.21 \text{ m}$ <p>Tendo 2 $\phi 16$ de armadura superior a meio vão :</p> $2 \phi 16 = 4.02 \text{ cm}^2$ $w = \frac{0.000402}{0.3 \times 0.45} \times \frac{348000}{13300} = 0.078$ <p>Consultando os ábacos de dimensionamento:</p> $w = 0.078 \rightarrow \mu = 0.075$ $M_{Rd} = 0.075 \times 0.3 \times 0.45^2 \times 13300 = 60.6 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao MS Excel, foi possível obter uma equação aproximada referente à variação dos momentos da viga em estudo.</p> $M_{Sd} = -31.2 \times x^2 + 148.5 \times x - 103$ $M_{Sd} = -60.6 \rightarrow x_1 = 0.30 \text{ m}$ <p>Comprimento de amarração:</p> $f_{ctd} = 1 \times \frac{1.5}{1.5} = 1 \text{ MPa}$ $f_{bd} = 2.25 \times 0.7 \times 1 \times 1 = 1575 \text{ kPa}$ $l_{b,rqd} = \frac{16}{4} \times \frac{348}{1.575} = 884 \text{ mm}$ <p>A dispensa ocorre aproximadamente à seguinte distância do apoio:</p> $x = 0.884 + 0.30 + 0.21 = 1.40 \text{ m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 1.45 m. A pequena diferença entre este valor e o calculado pode-se justificar devido às aproximações consideradas no cálculo.</p> |

Após serem executadas as rotinas de dimensionamento das vigas, é criado um ficheiro com os resultados com a extensão (.VCD). Este ficheiro está organizado de forma a facilitar a interpretação dos resultados por parte do utilizador assim como a leitura dos dados pelo código responsável pela criação dos ficheiros (.DXF).

Antes de apresentar o ficheiro com os resultados obtidos diretamente do código de dimensionamento para cada regulamento, é necessário apresentar o formato com que esses mesmos resultados são apresentados. A imagem seguinte é referente a uma pequena fração do ficheiro referente a um tramo da viga de extremidade do primeiro piso. Para melhor compreensão, a informação relevante foi destacada por intermédio de cores distintas, em correspondência com o tipo de informação sinalizada.

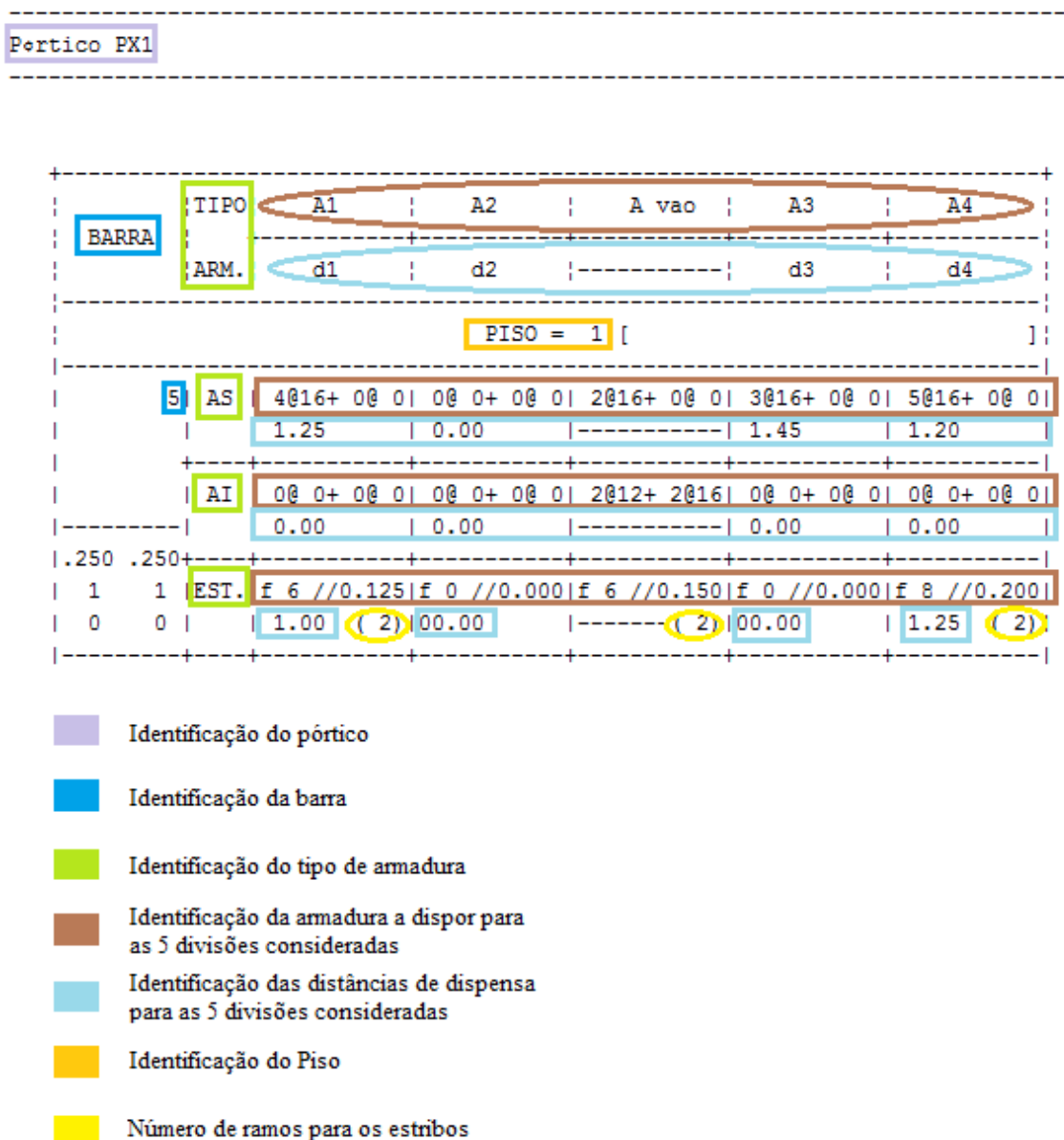


Figura 77 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD).

Analisando de forma mais detalhada o ficheiro é possível concluir que:

- ❖ O tramo analisado é o primeiro da estrutura a que corresponde o número de barra 5. Percebe-se assim que o PAC-Pórticos não faz distinção entre vigas e pilares, mas trata todos os elementos como barras que podem ser horizontais, diagonais ou verticais.
- ❖ Existem três tipos de armaduras; as primeiras, “AS”, correspondem à armadura superior, as seguintes “AI” à armadura inferior e por último as “EST.” que são os estribos a dispor por todo o tramo da viga.
- ❖ A zona imediatamente à direita de “AS” e “AI” contém a informação relativa à armadura longitudinal. Nesta zona na primeira, terceira e quinta coluna (“A1”, “A3” e “A5”), encontra-se a armadura, respetivamente, no apoio esquerdo, zona média e apoio direito. Da segunda e quarta coluna constarão armaduras não nulas se, a partir do apoio esquerdo ou do apoio direito, respetivamente, existir mais do que uma secção de interrupção das armaduras. Os valores não nulos da segunda linha da primeira e segunda coluna (“d1” e “d2”), por um lado, e da quarta e terceira (“d4” e “d3”), por outro, representam a distância ao apoio a que se procede à primeira e a segunda interrupção de armadura, se essa existir.
- ❖ Tanto a armadura superior como a inferior é constituída por dois grupos. A razão para tal é prever a utilização de varões de diâmetros diferentes na mesma região. No exemplo exposto é visível na armadura inferior a utilização de varões de diâmetros diferentes.
- ❖ O tramo demonstrativo é referente ao primeiro piso do pórtico em estudo.
- ❖ Apesar do espaçamento dos estribos a dispor ao longo de todo o elemento variar conforme se aproximam ou afastam dos apoios, estes são sempre constituídos por 2 ramos.

Explicada a designação dos principais elementos do ficheiro (.VCD), é seguidamente apresentado este mesmo ficheiro correspondente à viga em estudo para os dois regulamentos, REBAP e EC2 respetivamente. Estes ficheiros foram retirados diretamente das rotinas de cálculo atualizadas e como se pode observar os resultados apresentados pelo PAC-Pórticos nos ficheiros (.VCD) são os mencionados nos quadros comparativos do dimensionamento manual, estando portanto dentro do espetável.

Pertico PX1

| BARRA | | TIPO | A1 | A2 | A vao | A3 | A4 |
|--------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | ARM. | d1 | d2 | | d3 | d4 |
| PISO = 1 [] | | | | | | | |
| 5 | AS | | 4@16+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 | 2@16+ 0@ 0 | 3@16+ 0@ 0 | 5@16+ 0@ 0 |
| | | | 1.25 | 0.00 | | 1.45 | 1.20 |
| | AI | | 0@ 0+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 | 2@12+ 2@16 | 0@ 0+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 |
| | | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| .250 | .250 | | | | | | |
| 1 | 1 | EST. | f 6 //0.125 | f 0 //0.000 | f 6 //0.150 | f 0 //0.000 | f 8 //0.200 |
| 0 | 0 | | 1.00 (2) | 100.00 | (2) | 100.00 | 1.25 (2) |

Figura 78 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD) - REBAP.

Pertico PX1

| BARRA | | TIPO | A1 | A2 | A vao | A3 | A4 |
|--------------|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | ARM. | d1 | d2 | | d3 | d4 |
| PISO = 1 [] | | | | | | | |
| 5 | AS | | 4@16+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 | 2@16+ 0@ 0 | 3@16+ 0@ 0 | 5@16+ 0@ 0 |
| | | | 1.45 | 0.00 | | 1.65 | 1.45 |
| | AI | | 0@ 0+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 | 2@12+ 2@16 | 0@ 0+ 0@ 0 | 0@ 0+ 0@ 0 |
| | | | 0.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 |
| .250 | .250 | | | | | | |
| 1 | 1 | EST. | f 8 //0.075 | f 0 //0.000 | f 6 //0.200 | f 0 //0.000 | f 8 //0.075 |
| 0 | 0 | | 1.85 (2) | 100.00 | (2) | 100.00 | 2.10 (2) |

Figura 79 – Parcela do ficheiro de resultados (.VCD) – EC2

Em anexo do presente documento há uma parte representativa do início das rotinas que sofreram mais modificações. Entre estas estão as alusivas ao dimensionamento da armadura transversal

(Anexo A) e à interrupção da armadura longitudinal (Anexo B). Para além destes, haverá também os desenhos retirados diretamente do programa para cada regulamento de forma a tornar mais visíveis as diferenças entre estes. Estes desenhos são apresentados no Anexo C e D do presente documento.

4.3.3 – Alterações realizadas para os pilares

Foram realizadas alterações em diversas sub-rotinas pertencentes ao grupo do dimensionamento dos pilares. Estas modificações incidem no entanto especialmente em certas sub-rotinas, nomeadamente nas referentes aos efeitos de segunda ordem, assim como nos limites regulamentares estabelecidos para as diversas armaduras a dispor no pilar.

Para o dimensionamento de pilares segundo o EC2 no PAC-Pórticos, foi tida em consideração a possibilidade do utilizador inserir um parâmetro que relaciona o comprimento do elemento e o seu comprimento efetivo com base nas suas condições de apoio. Para tal, foi necessário adicionar este parâmetro aos ficheiros (resultantes da parte correspondente à inserção da estrutura do PAC-Pórticos) que o código de dimensionamento lê. Estas alterações nos ficheiros de dados resultam obviamente em alterações nas rotinas que precedem a sua leitura.

- ❖ η – Fator que depende das condições de ligação das suas extremidades, usado para calcular o comprimento efetivo.

4.3.3.1 – Verificação do dimensionamento do PAC-Pórticos

Para compreender se as alterações realizadas foram corretamente inseridas, foi testada uma estrutura em betão armado criada diretamente do PAC-Pórticos. A parte referente ao dimensionamento dos pilares implica a modelação da totalidade da estrutura e não apenas um pórtico como acontece nas vigas.

Seguidamente apresenta-se um exemplo de dimensionamento com cálculos manuais de acordo com ambos os regulamentos, o REBAP e o EC2. Os resultados obtidos são posteriormente comparados com o cálculo automático do PAC-Pórticos.

Como é visível na figura seguinte, onde se incluem três diferentes perspetivas, a estrutura em análise é uma estrutura porticada constituída por três pisos, sendo o último destes diferente dos restantes.

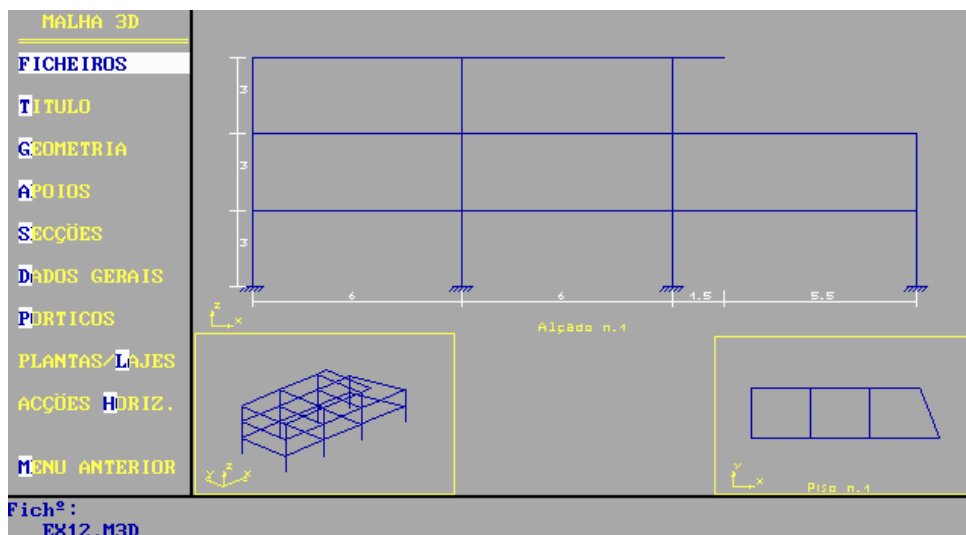


Figura 80 – Estrutura utilizada na análise.

Foram definidas duas seções distintas para as vigas, ambas retangulares, tendo as primeiras 0.25 m de base e 0.5 m de altura e as segundas 0.25 m de base e 0.6 m de altura. Os pilares têm igualmente duas seções distintas, ambas retangulares, os primeiros com dimensão 0.25 m e 0.35 m ($x \times y$) e os segundos têm 0.35 m e 0.25 m ($x \times y$). Relativamente aos materiais constituintes, adotou-se um betão B25 (respeitando a nomenclatura do REBAP) ou C20/25 (segundo os eurocódigos), e o aço que terá a classe de resistência A400 (REBAP) ou S400 (eurocódigos).

Relativamente às cargas, consideraram-se lajes maciças armadas nas duas direções com 0.20 m de espessura para os primeiros dois pisos que em conjunto com as restantes cargas permanentes atingem os 8.5 kN/m². Estes pisos estão também sujeitos a uma sobrecarga de 5 kN/m². Para o último piso, as lajes são idênticas às dos restantes pisos mas em conjunto com as restantes cargas permanentes somam um total de 7 kN/m². A sobrecarga considerada neste piso é de 1 kN/m².

Para visualizar os momentos fletores em ambas as direções do pilar é necessário verificar os diagramas de momentos nos pórticos a que esse pilar pertence. Atendendo a que o pilar em análise é um pilar de extremidade com três pisos e de acordo com o representado na figura 81, pode-se verificar os diagramas de momentos dos pórticos 1 (a azul) e 3 (a roxo).

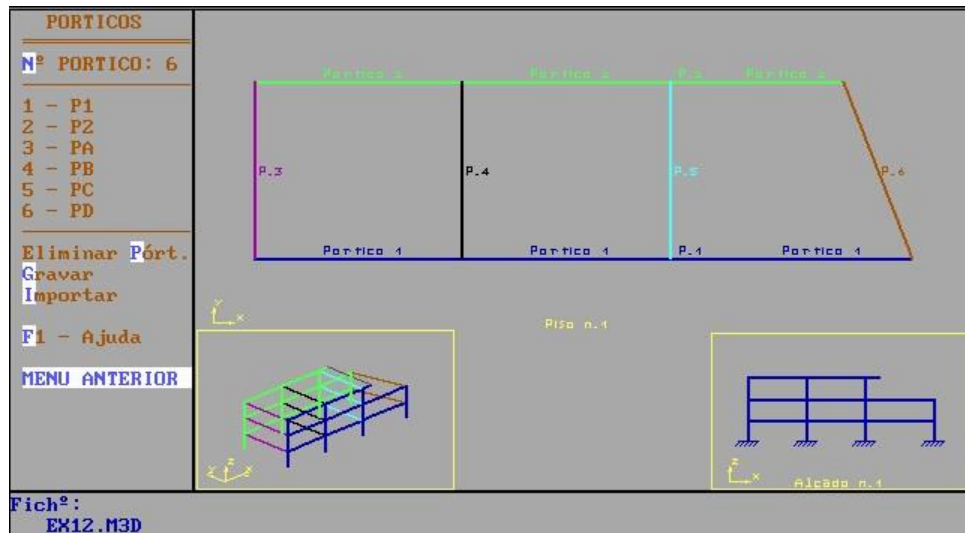


Figura 81 – Pórticos definidos na estrutura.

Ao analisar as diversas combinações de esforços admitidas, verificou-se que as mais condicionantes seriam as que consideram a ação do sismo como sendo a ação base. Os diagramas seguintes correspondem aos esforços gerados por essa combinação.

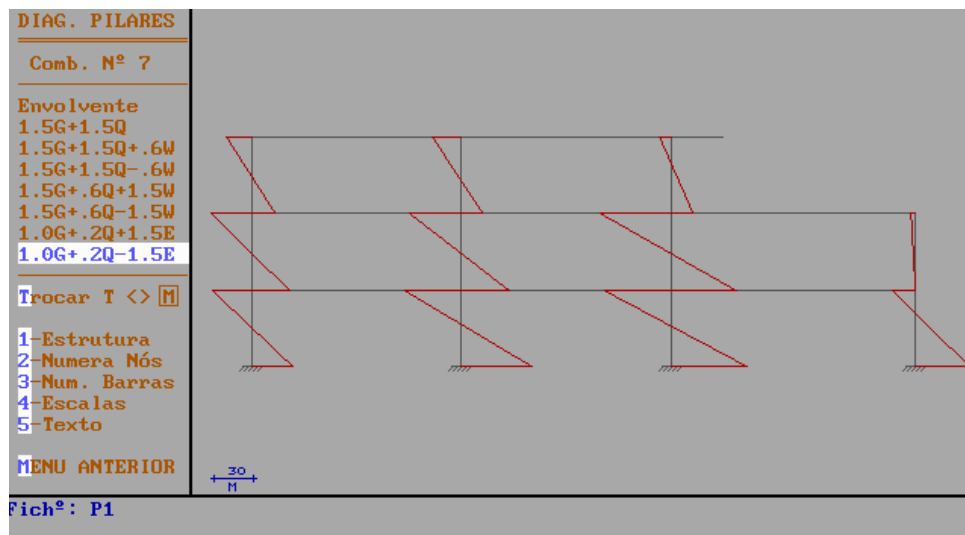


Figura 82 – Diagrama de momentos nos pilares do pórtico 1.

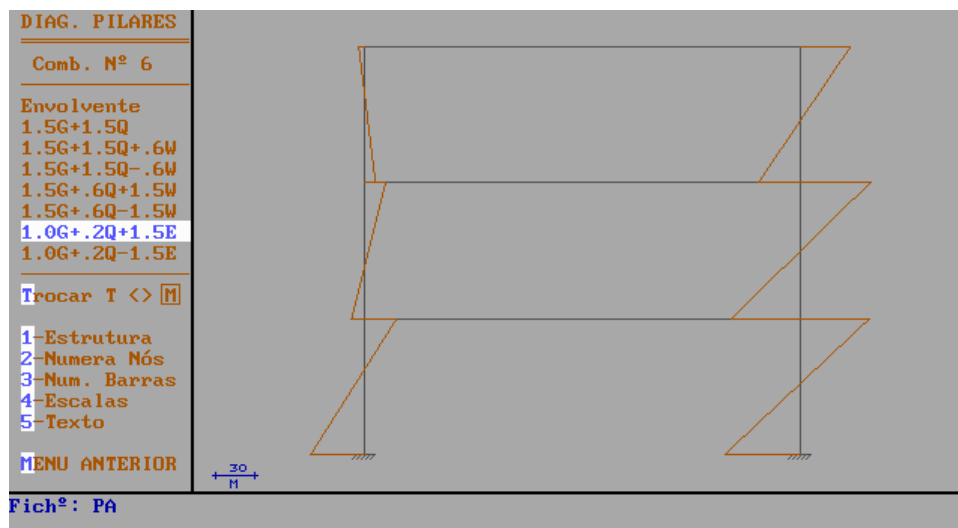


Figura 83 – Diagrama de momentos nos pilares do pórtico 3.

Previamente à realização dos cálculos, é necessário referir algumas questões relacionadas com o funcionamento do PAC-Pórticos no que respeita ao dimensionamento dos pilares.

Para análise dos efeitos de segunda ordem foram considerados dois dos métodos apresentados no EC2 (ponto 5.8.5 – Métodos de análise). O método baseado numa rigidez nominal e o baseado numa curvatura nominal. Dos dois métodos propostos pelo EC2 apenas se implementou no código o segundo (método baseado numa curvatura nominal) com maiores semelhanças ao proposto pelo REBAP e consequentemente o que melhor se integra no código já existente. Foi necessário, no entanto, assumir algumas simplificações de forma a tornar possível a sua implementação. Estas simplificações foram assumidas de acordo com os casos mais comuns na construção, pois, como já mencionado anteriormente, essa é a principal função do PAC-Pórticos. É importante referir também que, para os casos gerais, estas simplificações não têm grande influência no resultado final.

- ❖ Para o cálculo do fator de correção dependente do esforço normal (K_r), assumiu-se que a área da armadura andaré próxima dos 2% da área de betão, pois nesta fase ainda não está calculada a armadura da peça.
- ❖ Para o cálculo do coeficiente que tem em conta a fluência (K_ϕ) é necessário considerar o respetivo coeficiente de fluência efetivo (ϕ_{ef}). Este coeficiente depende de diversos fatores, tais como a humidade relativa média (RH), tempo de cura do betão à data do carregamento t_0 , momento fletor de primeira ordem na combinação de ações quase-permanentes (SLS), entre outros. Para além destes fatores, a obtenção do coeficiente de fluência ($\phi(\infty, t_0)$) necessário para o cálculo do coeficiente de fluência efetivo, é obtido diretamente do regulamento (EC2) consultando um gráfico em que os valores não variam de forma linear. Por todos estes motivos atrás apresentados

foi necessário assumir um valor para o coeficiente de fluência efetivo que não compromettesse os resultados nos casos mais comuns. Tendo sido assumido que a estrutura será carregada após 28 dias da data da betonagem adotou-se um coeficiente de fluência efetivo (ϕ_{ef}) igual a 1.5.

Relativamente ao cálculo da armadura longitudinal a dispor nos pilares, o PAC-Pórticos usa um método simplificado que conduz a resultados relativamente aproximados aos obtidos recorrendo às tabelas e ábacos de dimensionamento. As fórmulas simplificadas utilizadas no referido método, da autoria de F. Moran publicadas nos boletins do CEB, são utilizadas para determinar os esforços resistentes (μ e ν) distinguindo no entanto os esforços de tração e de compressão. Essa distinção é feita da seguinte forma:

Na zona de trações:

$$\omega = \frac{\mu}{\lambda \times \beta} - \nu$$

Na zona de compressões:

- Para $\nu \leq 0.85$

$$\omega = \frac{\mu + 0.55 \times \nu \times \nu_c}{\lambda \times \beta}$$

- Para $\nu > 0.85$

$$\omega = \frac{\mu}{\lambda \times \beta} + \nu_c$$

Sendo:

$$\omega = \frac{2 \times A_s}{b \times h} \times \frac{f_{syd}}{f_{cd}}$$

Nas tabelas abaixo, tal como acontece nas vigas, são apresentados uns cálculos com o propósito de comparar os resultados obtidos no PAC-Pórticos com os resultados obtidos manualmente. Naturalmente que na parte referente a armadura longitudinal vai existir uma ligeira diferença de valores estando, no entanto justificada com a utilização dos diferentes métodos de cálculo.

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Mobilidade da estrutura (dir. xx) | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Inserida a estrutura no PAC-Pórticos, retirou-se a sua mobilidade recorrendo aos dois métodos considerados pelo programa. No presente caso, trata-se de uma estrutura de nós móveis para ambas as direções.</p> <p>Cálculo da esbelteza (XX), sendo:</p> $A = 0.35 \times 0.25 = 0.0875 \text{ m}^2$ $I_x = \frac{0.35 \times 0.25^3}{12} = 4.56 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ $i_x = \sqrt{\frac{4.56 \times 10^{-4}}{0.0875}} = 0.0722 \text{ m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, obtiveram-se os “α”, parâmetros relativos a cada extremidade do pilar. Estes são dados pela relação entre a soma das rigidezes de flexão dos pilares e a soma das rigidezes de flexão das vigas que concorrem no nó em análise.</p> $\alpha_1 = 1 \text{ (encastramento parcial)}$ $\alpha_2 = 0.7$ <p>Então:</p> $\eta \leq \begin{cases} 1 + 0.15 \times (1 + 0.7) = 1.255 \\ 2 + 0.3 \times 0.7 = 2.210 \end{cases}$ $l_0 = 3 \times 1.255 = 3.765 \text{ m}$ $\lambda = \frac{3.765}{0.0722} = 52.15 \leq 140$ | <p>Cálculo da esbelteza (XX), sendo:</p> $A = 0.35 \times 0.25 = 0.0875 \text{ m}^2$ $I_x = \frac{0.35 \times 0.25^3}{12} = 4.56 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ $i_x = \sqrt{\frac{4.56 \times 10^{-4}}{0.0875}} = 0.0722 \text{ m}$ <p>Para obter os comprimentos efetivos dos pilares, tirou-se partido do facto do Eurocódigo 2 permitir obter os mesmos de um modo simplificado. Para cada pilar de secção transversal constante, o comprimento efetivo (l_0) depende dos apoios de extremidade. Sendo o pilar em análise correspondente ao primeiro piso, ligado diretamente às fundações, considerou-se de uma forma conservativa $l_0 = l$.</p> $l_0 = 3 \times 1 = 3 \text{ m}$ $\lambda = \frac{3}{0.0722} = 41.55$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem (dir. xx) | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Considerando que os momentos atuantes no pilar em análise para a direção (XX) são de:</p> $M_{sd,a} = - 23.33 \text{ kN.m}$ $M_{sd,b} = 20.75 \text{ kN.m}$ $M_{sd} = 23.33 \text{ kN.m}$ <p>Dispensa da verificação à encurvadura para nós móveis, considerando que $\lambda \leq 70$:</p> $\frac{23.33}{334.68} \leq 3.5 \times 0.25$ <p>Não dispensa a verificação, então:</p> $e_a = \frac{3.765}{300} = 0.0126 \leq 0.02 \rightarrow e_a = 0.02 \text{ m}$ $\eta = \frac{0.4 \times 13300 \times 0.0875}{334.68} = 1.39 \geq 1 \rightarrow \eta = 1$ $\frac{1}{r} = \frac{5}{0.25} \times 10^{-3} \times 1 = 0.02$ $e_2 = 0.02 \times \frac{3.765^2}{10} = 0.0284 \text{ m}$ $e_c = 0 \text{ m}$ $M'_{sd,x} = 23.33 + 334.68 \times 0.0484 = 39.53 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 39.51 kN.m.</p> | <p>Considerando que os momentos atuantes no pilar em análise para a direção (XX) são de:</p> $M_{top} = 20.75 \text{ kN.m}$ $M_{bottom} = - 23.33 \text{ kN.m}$ <p>Efeito das imperfeições:</p> $e_i \geq \begin{cases} \frac{3}{400} \\ 0.25 \\ \frac{30}{0.02} \end{cases} \rightarrow e_i = 0.02$ $M_{01} = 20.75 + 334.68 \times 0.02 = 27.44 \text{ kN.m}$ $M_{02} = 23.33 + 334.68 \times 0.02 = 30.02 \text{ kN.m}$ $M_{0e} \geq \begin{cases} 0.6 \times 30.02 - 0.4 \times 27.44 = 7.04 \text{ kN.m} \\ 0.4 \times 30.02 = 12.01 \text{ kN.m} \end{cases}$ <p>Dispensa da verificação à encurvadura:</p> $n = \frac{334.68}{0.25 \times 0.35 \times 13300} = 0.287$ $\lambda_{tim} = \frac{20 \times 0.7 \times 1.1 \times 0.7}{\sqrt{0.287}} = 20.12 > 41.55$ <p>Não dispensa a verificação, logo é necessário considerar o efeito de segunda ordem.</p> <p>Usando o método baseado numa curvatura nominal:</p> <p>Assumindo, previamente, que a área de aço irá ser aproximadamente igual a 2% da área de betão e que o aço vai ser distribuído de igual forma pelos quatro bordos do pilar:</p> $A_s = 0.02 \times 0.0875 = 0.00175 \text{ m}^2$ $w = \frac{0.00175 \times 348000}{0.0875 \times 13300} = 0.523$ $n_u = 1 + 0.523 = 1.523$ $K_r = \frac{1.523 - 0.287}{1.523 - 0.4} = 1.1 \geq 1 \rightarrow K_r = 1$ $\beta = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{41.55}{150} = 0.173$ $K_\varphi = 1 + 0.173 \times 1.5 = 1.26 \geq 1$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem (dir. xx) | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| | $\frac{1}{r_0} = \frac{348}{200000 \times 0.45 \times 0.2} = 0.0193$ $\frac{1}{r} = 1 \times 1.26 \times 0.0193 = 0.0243$ $e_2 = 0.0243 \times \frac{3^2}{\pi^2} = 0.0222 \text{ m}$ $M_2 = 334.68 \times 0.0222 = 7.43 \text{ kN.m}$ <p>Assim o momento considerado é o seguinte:</p> $M_{Ed} \geq \begin{cases} 30.02 \\ 9.33 + 7.43 \\ 27.44 + 0.5 \times 7.43 \end{cases} \rightarrow M_{Ed} = 31.16 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é igual ao calculado 31.16 kN.m.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Mobilidade da estrutura (dir. yy) | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Cálculo da esbelteza (YY), sendo:</p> $A = 0.35 \times 0.25 = 0.0875 \text{ m}^2$ $I_y = \frac{0.25 \times 0.35^3}{12} = 8.93 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ $i_y = \sqrt{\frac{8.93 \times 10^{-4}}{0.0875}} = 0.101 \text{ m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, obtiveram-se os “α”, parâmetros relativos a cada extremidade do pilar. Estes são dados pela relação entre a soma das rigidezes de flexão dos pilares e a soma das rigidezes de flexão das vigas que concorrem no nó em análise.</p> $\alpha_1 = 1 \text{ (encastramento parcial)}$ $\alpha_2 = 0.93$ <p>Então:</p> $\eta = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0.15 \times (1 + 0.93) = 1.289 \\ 2 + 0.3 \times 0.93 = 2.279 \end{array} \right.$ $l_0 = 3 \times 1.289 = 3.867 \text{ m}$ $\lambda = \frac{3.867}{0.101} = 38.29 \leq 140$ | <p>Cálculo da esbelteza (YY), sendo:</p> $A = 0.35 \times 0.25 = 0.0875 \text{ m}^2$ $I_y = \frac{0.25 \times 0.35^3}{12} = 8.93 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ $i_y = \sqrt{\frac{8.93 \times 10^{-4}}{0.0875}} = 0.101 \text{ m}$ <p>Para obter os comprimentos efetivos dos pilares, tirou-se partido do facto do Eurocódigo 2 permitir obter os mesmos de um modo simplificado. Para cada pilar de secção transversal constante, o comprimento efetivo (l_0) depende dos apoios de extremidade. Sendo o pilar em análise correspondente ao primeiro piso, ligado diretamente às fundações, considerou-se de uma forma conservativa $l_0 = l$.</p> $l_0 = 3 \times 1 = 3 \text{ m}$ $\lambda = \frac{3}{0.101} = 29.71$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem (dir. yy) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Considerando que os momentos atuantes no pilar em análise para a direção (YY) são de:</p> $M_{sd,a} = 91.21 \text{ kN.m}$ $M_{sd,b} = -85.43 \text{ kN.m}$ $M_{sd} = 91.21 \text{ kN.m}$ <p>Dispensa da verificação à encurvadura para nós móveis, considerando que $\lambda \leq 70$:</p> $\frac{91.21}{334.68} \leq 3.5 \times 0.35$ <p>Não dispensa a verificação, então:</p> $e_a = \frac{3.867}{300} = 0.0129 \leq 0.02 \rightarrow e_a = 0.02 \text{ m}$ $\eta = \frac{0.4 \times 13300 \times 0.0875}{334.68} = 1.39 \geq 1 \rightarrow \eta = 1$ $\frac{1}{r} = \frac{5}{0.35} \times 10^{-3} \times 1 = 0.0143$ $e_2 = 0.0143 \times \frac{3.867^2}{10} = 0.0214 \text{ m}$ $e_c = 0 \text{ m}$ $M'_{sd,y} = 91.21 + 334.68 \times 0.0414 = 105.07 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 105.05 kN.m.</p> | <p>Considerando que os momentos atuantes no pilar em análise para a direção (YY) são de:</p> $M_{top} = 91.21 \text{ kN.m}$ $M_{bottom} = -85.43 \text{ kN.m}$ <p>Efeito das imperfeições:</p> $e_i \geq \begin{cases} \frac{3}{400} \\ 0.35 \\ \frac{30}{0.02} \end{cases} \rightarrow e_i = 0.02$ $M_{01} = 85.43 + 334.68 \times 0.02 = 92.12 \text{ kN.m}$ $M_{02} = 91.21 + 334.68 \times 0.02 = 97.90 \text{ kN.m}$ $M_{0e} \geq \begin{cases} 0.6 \times 97.90 - 0.4 \times 92.12 = 21.89 \text{ kN.m} \\ 0.4 \times 92.12 = 36.85 \text{ kN.m} \end{cases}$ <p>Dispensa da verificação à encurvadura:</p> $n = \frac{334.68}{0.25 \times 0.35 \times 13300} = 0.287$ $\lambda_{tim} = \frac{20 \times 0.7 \times 1.1 \times 0.7}{\sqrt{0.287}} = 20.12 > 41.55$ <p>Não dispensa a verificação, logo é necessário considerar o efeito de segunda ordem.</p> <p>Usando o método baseado numa curvatura nominal:</p> <p>Assumindo, previamente, que a área de aço irá ser aproximadamente igual a 2% da área de betão e que o aço vai ser distribuído de igual forma pelos quatro bordos do pilar:</p> $A_s = 0.02 \times 0.0875 = 0.00175 \text{ m}^2$ $w = \frac{0.00175 \times 348000}{0.0875 \times 13300} = 0.523$ $n_u = 1 + 0.523 = 1.523$ $K_r = \frac{1.523 - 0.287}{1.523 - 0.4} = 1.1 \geq 1 \rightarrow K_r = 1$ $\beta = 0.35 + \frac{20}{200} - \frac{29.71}{150} = 0.252$ $K_\varphi = 1 + 0.252 \times 1.5 = 1.38 \geq 1$ |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Efeitos de segunda ordem (dir. yy) | |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| | $\frac{1}{r_0} = \frac{348}{200000 \times 0.45 \times 0.3} = 0.0129$ $\frac{1}{r} = 1 \times 1.38 \times 0.0129 = 0.0178$ $e_2 = 0.0178 \times \frac{3^2}{\pi^2} = 0.0163 \text{ m}$ $M_2 = 334.68 \times 0.0163 = 5.46 \text{ kN.m}$ <p>Assim o momento considerado é o seguinte:</p> $M_{Ed} \geq \begin{cases} 97.90 \\ 5.46 + 36.48 \\ 92.12 + 0.5 \times 5.46 \end{cases} \rightarrow M_{Ed} = 97.90 \text{ kN.m}$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é igual ao calculado 97.90 kN.m.</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Cálculo da armadura longitudinal | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>Recorrendo à parte do programa destinada à verificação da mobilidade da estrutura, verificou-se que se trata de uma estrutura de nós móveis, logo as secções críticas encontrar-se-ão numa das extremidades do elemento.</p> <p>Esforços de dimensionamento no topo:</p> $\begin{cases} N_{Ed} = 334.68 \text{ kN} \\ M_{Ed,x} = 20.75 + 334.68 \times 0.0484 = 36.96 \text{ kN.m} \\ M_{Ed,y} = 91.21 + 334.68 \times 0.0414 = 105.07 \text{ kN.m} \end{cases}$ <p>Esforços de dimensionamento na base:</p> $\begin{cases} N_{Ed} = 334.68 \text{ kN} \\ M_{Ed,x} = 23.33 + 334.68 \times 0.0484 = 39.53 \text{ kN.m} \\ M_{Ed,y} = 85.43 + 334.68 \times 0.0414 = 99.28 \text{ kN.m} \end{cases}$ <p>No presente exemplo, os resultados são muito próximos em qualquer uma das zonas do elemento consideradas, no entanto o Pac-Pórticos assumiu como sendo os esforços de dimensionamento no topo do pilar como sendo os mais condicionantes.</p> <p>Então:</p> $v = \frac{334.68}{0.25 \times 0.35 \times 13300} = 0.287$ $\mu_x = \frac{36.96}{0.35 \times 0.25^2 \times 13300} = 0.127$ $\mu_y = \frac{105.05}{0.25 \times 0.35^2 \times 13300} = 0.258$ $\mu_y > \mu_x \rightarrow \mu_1 = 0.258; \mu_2 = 0.127$ <p>Consultando os ábacos:</p> $\left. \begin{matrix} \mu_1 = 0.258; \mu_2 = 0.127 \\ v = 0.4 \end{matrix} \right\} w = 0.6$ $\left. \begin{matrix} \mu_1 = 0.258; \mu_2 = 0.127 \\ v = 0.2 \end{matrix} \right\} w = 0.65$ <p>Logo:</p> $\frac{0.4 - 0.2}{0.6 - 0.65} = \frac{0.4 - 0.287}{0.6 - w} \rightarrow w = 0.628$ | <p>Esforços de dimensionamento condicionantes:</p> $\begin{cases} N_{Ed} = 334.68 \text{ kN} \\ M_{Ed,x} = 31.16 \text{ kN.m} \\ M_{Ed,y} = 97.90 \text{ kN.m} \end{cases}$ <p>Então:</p> $v = \frac{334.68}{0.25 \times 0.35 \times 13300} = 0.287$ $\mu_x = \frac{31.16}{0.35 \times 0.25^2 \times 13300} = 0.107$ $\mu_y = \frac{97.90}{0.25 \times 0.35^2 \times 13300} = 0.240$ $\mu_y > \mu_x \rightarrow \mu_1 = 0.240; \mu_2 = 0.107$ <p>Consultando os ábacos:</p> $\left. \begin{matrix} \mu_1 = 0.240; \mu_2 = 0.107 \\ v = 0.4 \end{matrix} \right\} w = 0.51$ $\left. \begin{matrix} \mu_1 = 0.240; \mu_2 = 0.107 \\ v = 0.2 \end{matrix} \right\} w = 0.56$ <p>Logo:</p> $\frac{0.4 - 0.2}{0.51 - 0.56} = \frac{0.4 - 0.287}{0.51 - w} \rightarrow w = 0.538$ $A_{s,tot} = \frac{0.538 \times 0.25 \times 0.35 \times 13300}{348000} = 17.79 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 19.40 cm². A diferença entre este valor e o calculado é justificada na introdução do presente capítulo. Com este resultado as armaduras atribuídas pelo programa para o pilar foram 4 ϕ 25, o que totaliza uma área de 19.63 cm².</p> |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Calculo da armadura longitudinal | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| $A_{s,tot} = \frac{0.628 \times 0.25 \times 0.35 \times 13300}{348000} = 21 \text{ cm}^2$ <p>Recorrendo ao PAC-Pórticos, o valor obtido é de 23.17 cm². A diferença entre este valor e o calculado é justificada na introdução do presente capítulo. Com este resultado as armaduras atribuídas pelo programa para o pilar foram 4 ϕ 25 com mais 2 ϕ 20, o que totaliza uma área de 25.91 cm².</p> | |

| Quadro comparativo entre REBAP e EC2 – Calculo da armadura transversal | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| REBAP | Eurocódigo 2 |
| <p>O cálculo das cintas tem em conta a armadura longitudinal atribuída que é de 4 ϕ 25 com 2 ϕ 20.</p> <p>Sendo:</p> $\phi_l \geq 25 \text{ mm} \rightarrow \phi_t \geq 8 \text{ mm}$ <p>Assume-se então que as cintas serão compostas por varões com um diâmetro de 8 mm.</p> <p>Relativamente ao espaçamento:</p> $s_t \leq \begin{cases} 12 \times 0.020 = 0.24 \text{ m} \\ 0.25 \text{ m} \\ 0.3 \text{ m} \end{cases} \rightarrow s_t = 0.24 \text{ m}$ | <p>O calculo das cintas tem em conta a armadura longitudinal atribuída que é de 4 ϕ 25.</p> <p>Sendo:</p> $\phi_l \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ \frac{1}{4} \times 25 = 6.25 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow \phi_l = 8 \text{ mm}$ <p>Assume-se então que as cintas serão compostas por varões com um diâmetro de 8 mm.</p> <p>Relativamente ao espaçamento:</p> $s_t \leq \begin{cases} 15 \times 0.025 = 0.375 \text{ m} \\ 0.25 \text{ m} \\ 0.3 \text{ m} \end{cases} \rightarrow s_t = 0.25 \text{ m}$ |

Após serem executadas as rotinas de dimensionamento dos pilares, é criado um ficheiro com os resultados com a extensão (.RPG). Este ficheiro, tal como o ficheiro (.VCD) relacionado com as vigas, está organizado de forma a facilitar a interpretação dos resultados por parte do utilizador assim como a leitura dos dados pelo código responsável pela criação dos ficheiros (.DXF).

Antes de apresentar o ficheiro com os resultados obtidos diretamente do código de dimensionamento para cada regulamento, é necessário apresentar o formato com que esses mesmos resultados são apresentados. A imagem seguinte corresponde a uma pequena fração do ficheiro referente a um tramo do primeiro pilar de toda a estrutura. Para melhor compreensão, a informação relevante foi destacada por intermédio de cores distintas, em correspondência com o tipo de informação sinalizada.

| PILARES - ANÁLISE DA ENCURVADURA B25 A400 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------|---|---|----|--------------------------|-----------------|----|--|--|--|--|--|--|--|
| PORTICOS | | | | | | | | | | | | | | |
| DIRECCAO x (Nos Moveis) | | | | | DIRECCAO y (Nos Moveis) | | | | | | | | | |
| DESIGNACAO | PONTOS DA MALHA | | | | DESIGNACAO | PONTOS DA MALHA | | | | | | | | |
| P1 | 1 | 2 | 3 | 5 | PA | 1 | 6 | | | | | | | |
| P2 | 6 | 7 | 8 | 10 | PB | 2 | 7 | | | | | | | |
| | | | | | PC | 3 | 8 | | | | | | | |
| | | | | | PD | 5 | 10 | | | | | | | |

| PILAR P | b(m) | h(m) | l(m) | a1x | a2x | etax | lox(m) | Lambdax | a1y | a2y | etay | lo(m)y | Lambday | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|------------|---------|------------|-------------|---------------|---------------|----------|---------|
| PT. da MALHA- 1 | NSD (kN) | MSDX,e (kN²m) | MSDX,d (kN²m) | MSDY,e (kN²m) | MSDY,d (kN²m) | ETAX | EXCTX (cm) | ETAY | EXCTY (cm) | NSD,cr (kN) | MSDX,c (kN²m) | MSDY,c (kN²m) | As (cm²) | LOCAL |
| Fund. - Piso 1 | .35 | .25 | 3.00 | 1.00 | .70 | 1.25 | 3.76 | 52.2 | 1.00 | .93 | 1.29 | 3.87 | 38.3 | |
| Combinacao 16 | 335. | 20.7 | 23.3 | 91.2 | 85.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 335. | 31.2 | 97.9 | 19.40 | Interio |
| Combinacao 12 | 325. | 53.5 | 50.2 | 35.8 | 42.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 325. | 60.3 | 48.9 | 17.73 | Interio |
| Combinacao 15 | 307. | -7.3 | .3 | 91.2 | 85.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 307. | 13.4 | 97.3 | 15.26 | Interio |
| Combinacao 14 | 212. | 20.7 | 23.3 | -67.2 | -37.6 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 212. | 27.6 | 71.4 | 14.36 | Interio |
| As,calc= 19.40 cm2 (2.22%) : As,min= 1.75 cm2: As,ef= 4f25+ 0f 0(face sup.= 2+ 0): cintas = (f 8af. de .25m) | | | | | | | | | | | | | | |

- Identificação do pilar
- Identificação do tramo do pilar
- Geometria do elemento
- Identificação dos esforços referentes ao tramo do pilar
- Área de armadura longitudinal calculada
- Armadura longitudinal selecionada para o elemento
- Armadura a colocar para as cintas

Figura 84 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG).

Analisando o ficheiro de forma mais detalhada é possível concluir que:

- ❖ O tramo analisado corresponde ao “Fund. – Piso 1”, ou seja, é o tramo que começa nas fundações e termina no piso 1 da estrutura.
- ❖ As dimensões do tramo observado relativo ao pilar “P” apresentadas no ficheiro são paralelas ao eixo Y, assim sendo, considera-se que tem 0.35 m de base, 0.25 m de altura e 3 m de comprimento.
- ❖ Para o cálculo da armadura longitudinal são consideradas diversas combinações de ações. A combinação condicionante no presente exemplo é a “Combinação 16” a que corresponde uma área de aço de 19.40 cm².
- ❖ Tal como acontece para as vigas, a armadura longitudinal é constituída por dois grupos, permitindo assim a utilização de varões de diâmetros diferentes. No exemplo apresentado na figura 84 são utilizados apenas varões com 25 mm de diâmetro.
- ❖ Relativamente à armadura longitudinal selecionada para o elemento, é visível a zona (face sup. = m + n) sendo “m” e “n” números. Estes valores servem para caracterizar a posição da armadura na secção indicando, respetivamente, o número de varões do primeiro e do segundo diâmetro, a colocar em cada uma das faces paralelas à direção x. A figura seguinte serve como exemplo e é ilustrativa do seguinte caso ($A_{s,ef} = 4 f 16 + 6 f 12$ (face sup. = 2 + 2)).

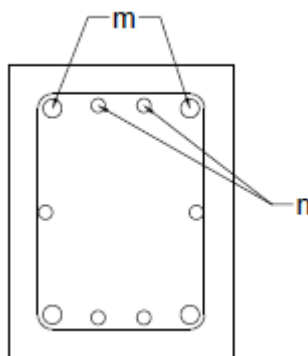


Figura 85 – Distribuição das armaduras longitudinais.

- ❖ As cintas do pilar serão compostas por varões de 8 mm com um espaçamento entre cada uma de 0.25 m.

Explicada a designação dos principais elementos do ficheiro (.RPG), é apresentado de seguida este mesmo ficheiro correspondente ao pilar em estudo para os dois regulamentos, REBAP e EC2 respetivamente. Estes ficheiros foram retirados diretamente das rotinas de cálculo atualizadas e, como se pode observar, os resultados apresentados pelo PAC-Pórticos nos ficheiros (RPG) são os mencionados nos quadros comparativos do dimensionamento manual, estando portanto dentro do espetável.

| PILAR P | b(m) | h(m) | l(m) | a1x | a2x | etax | lox(m) | Lambdax | a1y | a2y | etay | loy(m) | Lambday | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|---------------|---------------|----------|------------|
| PT. da MALHA- 1 | NSD (kN) | MSDx,e (kN*m) | MSDx,d (kN*m) | MSDy,e (kN*m) | MSDy,d (kN*m) | ETAX ---- | EXCTX (cm) | ETAY ---- | EXCTY (cm) | NSD,cr (kN) | MSDx,c (kN*m) | MSDy,c (kN*m) | As (cm²) | LOCAL ---- |
| Fund. - Piso 1 | .35 | .25 | 3.00 | 1.00 | .70 | 1.25 | 3.76 | 52.2 | 1.00 | .93 | 1.29 | 3.87 | 38.3 | |
| Combinacao 16 | 335. | 20.7 | 23.3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 335. | 36.9 | 105.1 | 23.17 | Ext. Esq |
| Combinacao 12 | 325. | 53.5 | 50.2 | 35.8 | 42.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 325. | 65.9 | 55.8 | 21.50 | Ext. Dir |
| Combinacao 15 | 307. | -7.3 | .3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 307. | 22.1 | 103.9 | 18.56 | Ext. Esq |
| Combinacao 14 | 212. | 20.7 | 23.3 | -67.2 | -37.6 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 212. | 31.0 | 75.9 | 15.97 | Ext. Esq |
| As,calc= 23.17 cm2 (2.65%) : As,min= 5.25 cm2: As,ef= 4f25+ 2f20(face sup.= 2+ 1): Cintas = (f 8af. de .24m) | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 86 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG). – REBAP.

| PILAR P | b(m) | h(m) | l(m) | a1x | a2x | etax | lox(m) | Lambdax | a1y | a2y | etay | loy(m) | Lambday | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|------------|-----------|------------|-------------|---------------|---------------|----------|------------|
| PT. da MALHA- 1 | NSD (kN) | MSDx,e (kN*m) | MSDx,d (kN*m) | MSDy,e (kN*m) | MSDy,d (kN*m) | ETAX ---- | EXCTX (cm) | ETAY ---- | EXCTY (cm) | NSD,cr (kN) | MSDx,c (kN*m) | MSDy,c (kN*m) | As (cm²) | LOCAL ---- |
| Fund. - Piso 1 | .35 | .25 | 3.00 | 1.00 | .70 | 1.25 | 3.76 | 52.2 | 1.00 | .93 | 1.29 | 3.87 | 38.3 | |
| Combinacao 16 | 335. | 20.7 | 23.3 | 91.2 | 85.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 335. | 31.2 | 97.9 | 19.40 | Interio |
| Combinacao 12 | 325. | 53.5 | 50.2 | 35.8 | 42.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 325. | 60.3 | 48.9 | 17.73 | Interio |
| Combinacao 15 | 307. | -7.3 | .3 | 91.2 | 85.4 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 307. | 13.4 | 97.3 | 15.26 | Interio |
| Combinacao 14 | 212. | 20.7 | 23.3 | -67.2 | -37.6 | .00 | 2.22 | .00 | 1.62 | 212. | 27.6 | 71.4 | 14.36 | Interio |
| As,calc= 19.40 cm2 (2.22%) : As,min= 1.75 cm2: As,ef= 4f25+ 0f 0(face sup.= 2+ 0): Cintas = (f 8af. de .25m) | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 87 – Parcela do ficheiro de resultados (.RPG). – EC2.

Em anexo do presente documento há uma parte representativa do início das rotinas que sofreram mais modificações. Entre estas estão as alusivas aos efeitos de segunda ordem (Anexo E) e aos limites regulamentares estabelecidos para as diversas armaduras a dispor no pilar (Anexo F). Para além destes, haverá também os desenhos retirados diretamente do programa para cada regulamento de forma a tornar mais visíveis as diferenças entre estes. Estes desenhos são apresentados no Anexo G do presente documento.

5 – Integração do PAC-Pórticos com o conceito BIM

5.1 – Soluções ponderadas na integração com conceito BIM

Um dos propósitos do presente trabalho passa por integrar o PAC-Pórticos com o conceito BIM. O método mais convencional de o fazer será possibilitar que o programa guarde os resultados obtidos no dimensionamento automático num determinado formato de ficheiro que seja legível por uma ferramenta BIM. Pelas razões já apresentadas anteriormente, o formato de ficheiro ideal é o IFC, pois o propósito deste é proporcionar uma interoperabilidade entre todos os *software* BIM. Para tal, numa primeira fase, estudou-se a organização de um ficheiro IFC com o propósito de posteriormente criar diretamente do PAC-Pórticos ficheiros deste tipo. Devido ao tempo disponível e à complexidade da tarefa, verificou-se que tal não seria possível.

Alternativamente, foram pesquisadas algumas ferramentas que podiam facilitar a tarefa e assim reduzir substancialmente o tempo necessário para poder criar os ficheiros IFC a partir do PAC-Pórticos. A pesquisa não surtiu os efeitos desejados pois não foram encontradas soluções que oferecessem garantias de um correto funcionamento.

Como segunda alternativa surgiu a hipótese de criar um *plug-in* para o programa de desenho da Autodesk, o AutoCAD. Esta solução permitiria não só desenhar em 3D todos os elementos do pórtico de forma automática, mas também, de uma forma indireta, integrar o PAC-Pórticos com o conceito BIM. Pode-se afirmar que criando este *plug-in* a integração está de certa forma garantida pois atualmente, as principais ferramentas BIM (entre elas o Revit, Archicad, Tekla, Solibri, etc.) lêem corretamente os ficheiros criados a partir do AutoCAD (.DWG e .DXF) e permitem exportar os mesmos para o formato de ficheiro IFC. Para além disso, atualmente há duas versões do programa (AutoCAD Architecture e AutoCAD MEP) que sem qualquer instrumento extra exportam os desenhos diretamente para o formato IFC.

5.2 – Criação de *plug-in* para o AutoCAD

Numa primeira fase começou-se por estudar o código, em Visual Basic, que cria os desenhos em 2D automaticamente do PAC-Pórticos. O seu funcionamento baseia-se em ler diretamente os ficheiros de resultados e escrever os ficheiros (.DXF) sem recorrer a qualquer ferramenta auxiliar, o que implica que o código seja deveras extenso e complexo.

O código responsável por gerar os ficheiros (.DXF) existe desde os inícios da década de 90. Trata-se consequentemente de uma ferramenta “desatualizada”, apesar de ser completamente funcional e totalmente abrangente a todos os possíveis casos do PAC-Pórticos. Atualmente existem muitos outros recursos que possibilitam realizar tarefas deste tipo de uma forma mais rápida e até eficiente.

Por se tratar de um código demasiado complexo para ser alterado no tempo disponível e tendo em consideração as ferramentas que existem atualmente, optou-se por criar uma nova solução em vez de tentar adaptar o código já existente para o desenho em 3D.

Com este propósito, foi necessário programar “dentro” do AutoCAD, ou seja, foi necessário recorrer a algumas bibliotecas do próprio programa, permitindo assim utilizar uma boa parte das suas potencialidades, tornando o novo código menos extenso e mais funcional.

A ferramenta utilizada para programar o *plug-in* foi o Visual Studio 2013. Este IDE (*Integrated Development Environment*) foi desenvolvido pela Microsoft e permite criar aplicações para as mais diversas plataformas recorrendo a qualquer uma das diversas linguagens de programação suportadas.

O novo código foi todo programado em C#. Esta linguagem de programação faz parte de um conjunto de ferramentas oferecidas na plataforma (.NET) e trata-se de uma linguagem simples, robusta e orientada para objetos, tornando-se assim ideal para concretizar o trabalho pretendido. É necessário referir também que o primeiro objetivo foi o de desenhar as vigas e pilares separadamente. No entanto, caso fosse possível, foi prevista também a hipótese de desenhar todo o pórtico, ou até toda a estrutura de uma só vez de forma automática.

5.2.1 – *Plug-in* para as vigas

Começou-se por criar o *plug-in* com o propósito de desenhar as vigas presentes num determinado pórtico originário do PAC-Pórticos. Para tal ser possível, foi necessário retirar informação de cada elemento lendo alguns dos ficheiros gerados pelo programa após o seu dimensionamento.

No caso das vigas, foi necessário ler três dos ficheiros gerados, sendo todos estes relativos ao pórtico no qual as vigas estão incorporadas. De cada um dos ficheiros é retirada parte da informação essencial ao desenho da viga.

Os ficheiros lidos são os seguintes:

- ❖ Ficheiro com a extensão (.VCD). Deste ficheiro, já apresentado anteriormente, é retirada toda a informação relativa às armaduras de cada tramo de viga pertencente ao pórtico em análise.
- ❖ Ficheiro com a extensão (.ARM). Deste ficheiro, já referido na apresentação do PAC-Pórticos, é retirada a informação relativa à geometria do elemento. Os dados são retirados para cada tramo de viga pertencente ao pórtico em análise, tal como acontece no ficheiro (.VCD).
- ❖ O terceiro é um ficheiro criado por pórtico sem qualquer extensão de ficheiro atribuída. Este é geralmente identificado com o nome atribuído ao pórtico correspondente e contém informação relativa ao mesmo. Deste ficheiro apenas são retirados alguns dados gerais da estrutura, nomeadamente:
 - Classe de resistência do betão e do aço.
 - Recobrimento admitido para os elementos do pórtico.

Criado o código de leitura da informação necessária, procedeu-se à conceção do código responsável pelo desenho das peças.

O procedimento de programação baseou-se em criar diferentes métodos de desenho para cada sólido presente no elemento, isto é, os contornos geométricos da própria viga, os estribos e a armadura longitudinal, respetivamente. Posteriormente todos estes objetos são colocados nas suas posições definitivas.

Seguidamente são abordados os principais aspetos do desenho de cada sólido.

5.2.1.1 – Geometria das vigas

Começando pelo desenho dos contornos geométricos da viga foi necessário respeitar alguns cuidados de forma a desenhar corretamente cada tramo da viga, independentemente da sua posição. Antes do *plug-in* proceder ao desenho do elemento selecionado, é identificada a sua posição na estrutura admitindo-se uma das seguintes possibilidades:

- ❖ Extremidade esquerda, como o próprio nome indica, são os tramos da viga que estão na extremidade esquerda da viga.
- ❖ Extremidade direita, tal como para o lado esquerdo, estes são os tramos da viga colocados na extremidade direita.
- ❖ Simplesmente apoiado, corresponde aos tramos em que a viga tem um único tramo. Este caso está incluído nas duas possibilidades apresentadas anteriormente pois são de extremidade esquerda e direita.
- ❖ Tramos intermédios são os tramos que não pertencem a nenhuma das possibilidades anteriores, pois estes não estão em contacto com nenhuma das extremidades da viga.

A posição do elemento vai ter influência direta no seu desenho, pois poderá haver a necessidade de corrigir o desenho para os casos em que haja ligação com as extremidades. De forma a explicar melhor esta questão são apresentados dois casos distintos. A figura 88 representa a união de dois tramos da viga apoiados num pilar intermédio. Para facilitar a sua identificação, cada elemento está representado por uma determinada cor. Esta distinção de cores tem o propósito de mostrar a forma como o tramo de viga é desenhado individualmente pelo *plug-in*.

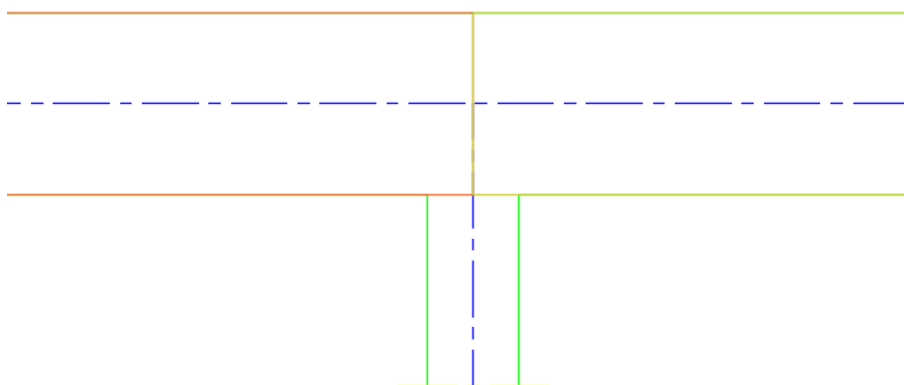


Figura 88 – União de elementos horizontais com pilar intermédio.

Percebe-se que a viga da esquerda, representada a cor laranja, termina no centro do pilar intermedio, já a viga da direita, representada a amarelo, inicia no mesmo ponto, ou seja, no centro do pilar intermédio. Permite-se assim que, na eventualidade de juntar os elementos horizontais desenhados, haja uma correta união entre estes. Nos elementos de extremidade a representação é no entanto distinta.

A figura 89 reproduz a união entre um pilar e uma viga na sua extremidade esquerda. Nesta figura, representado a verde, está exibido o desenho da ligação entre os elementos se for utilizado o método para desenhar as vigas intermédias apresentado anteriormente. Na mesma figura, representado a roxo, está exibido o que pretende obter nos desenhos das vigas de extremidade, ou seja, pretende-se que haja um ajuste no comprimento da viga de forma a incluir também a largura total do apoio (pilar).

Para além do ajuste no comprimento da viga permitir que posteriormente se possa ligar os diferentes elementos corretamente, permite também que se possa desenhar as amarrações das armaduras longitudinais dentro do próprio elemento.

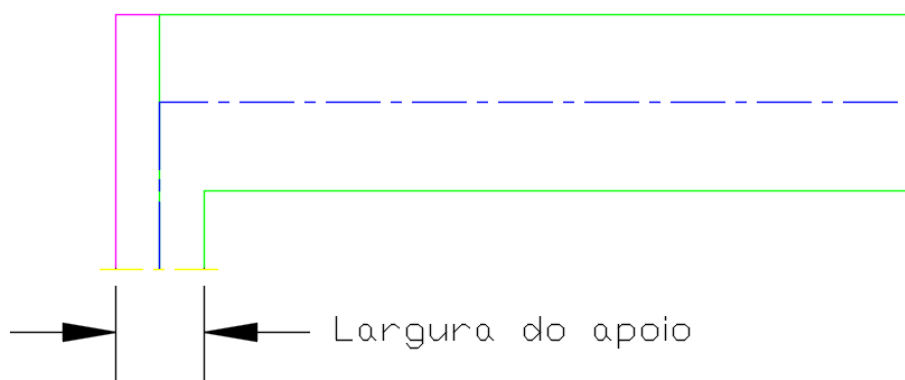


Figura 89 – União de elemento horizontal com pilar de extremidade.

É necessário referir que o aumento de comprimento da viga de extremidade é sempre metade da largura do apoio. No entanto, durante o desenvolvimento do presente *plug-in* não foi possível obter (da leitura dos ficheiros gerados automaticamente pelo PAC-Pórticos) a informação relativa à largura dos pilares. Assim, para contornar esta questão, foi necessário implementar a possibilidade do utilizador inserir a largura do apoio total antes de se proceder ao desenho propriamente dito.

Apresenta-se no Anexo H parte representativa do início do código responsável por desenhar a geometria da viga.

5.2.1.2 – Armaduras transversais

Para o desenho dos estribos, assim como para o desenho das armaduras longitudinais, foi necessário ter em conta as eventuais dispensas especificadas no ficheiro (.VCD).

O significado de cada parâmetro referente às dispensas de armaduras do ficheiro (.VCD) já foi abordado anteriormente. De forma a tornar mais perceptível o descrito seguidamente, é apresentado um esquema que contém as distâncias consideradas para o desenho das armaduras verticais.

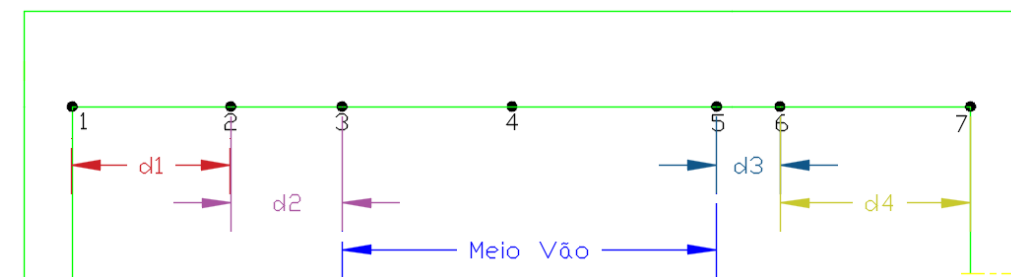


Figura 90 – Distâncias consideradas no ficheiro (.VCD).

O desenho das armaduras verticais é dividido em 5 parcelas sendo cada uma destas referente a uma das distâncias representadas na figura acima. No caso de algumas destas distâncias ser zero, não há alteração das armaduras proveniente da distância desenhada anteriormente.

Normalmente, as zonas de maior esforço transversal que correspondem às zonas de maior reforço da armadura transversal ocorrem geralmente na proximidade dos apoios. Tendo isto em consideração, o desenho da armadura transversal inicia-se na zona do meio vão. É nesta zona também que, em caso de necessidade, se processará a ajustes na distribuição dos estribos de forma a apresentar um desenho regular dos mesmos ao longo de toda a peça, sendo que, o eventual ajuste implica apenas um desvio ligeiro do valor estabelecido para o espaçamento entre estribos na zona do meio-vão, cumprindo o estabelecido para as restantes zonas.

Apresenta-se no Anexo I parte representativa do início do código responsável pelo desenho dos estribos.

5.2.1.3 – Armaduras longitudinais

Para o desenho das armaduras longitudinais, foi necessário ter em conta as eventuais dispensas retiradas do ficheiro (.VCD).

O princípio da disposição dos varões longitudinalmente, tendo em conta as dispensas admitidas pelo PAC-Pórticos, é idêntico ao utilizado para os estribos, variando apenas em alguns pormenores que, logicamente diferenciam as armaduras longitudinais das verticais.

Dentro do princípio de desenho das armaduras longitudinais, a abordagem ao desenho das armaduras altera-se conforme o grupo de armaduras, ou seja, se forem as “AS” (armaduras superiores) ou se forem as “AI” (armaduras inferiores).

Normalmente, as zonas de momento fletor negativo máximo que correspondem às zonas de maior reforço da armadura longitudinal superior ocorrem geralmente na proximidade dos apoios. Tendo isto em consideração, o desenho destas armaduras está programado para desenhar primeiro os varões que percorrem todo o elemento (que servem também de armadura construtiva), sendo os restantes varões adicionados junto aos apoios de ambos os lados.

Já para as armaduras longitudinais inferiores, o método de desenho é inverso ao das superiores, pois por norma, nas zonas junto aos apoios esta armadura não é tão solicitada como chega a ser na zona do meio vão, pois é aí que se concentram os momentos positivos máximos. Tal como acontece para as armaduras superiores, o código está preparado para desenhar os primeiros varões percorrendo todo o elemento. Os restantes varões serão adicionados na zona central.

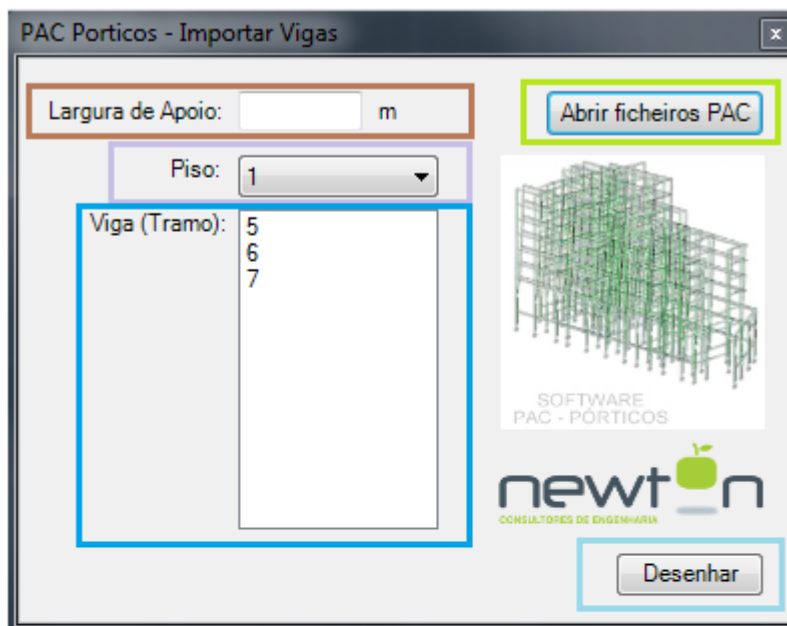
É importante referir que foram desenvolvidos alguns métodos, aplicáveis a ambas as armaduras, com o objetivo de posicionar transversalmente os varões adicionados posteriormente de forma correta, assim como, com o objetivo de desenhar corretamente as amarrações de cada varão, independentemente da sua posição e características.

Apresenta-se no anexo J parte representativa do início do código responsável por desenhar as armaduras longitudinais inferiores.

5.2.1.4 – Funcionamento *plug-in*

A primeira versão do presente *plug-in* foi criada para desenhar de forma individual cada tramo da viga. Ficou prevista no entanto a possibilidade de, futuramente, desenhar toda a viga de uma só vez, independentemente do número de tramos que esta tenha.

Seguidamente é apresentado o interface do *plug-in*. Pretende-se obter um interface simples e intuitivo, bastando apenas ao utilizador abrir os ficheiros de leitura de dados, seleccionar a viga (tramo) a desenhar e inserir uma largura de apoio. Após estes três passos é possível executar o comando de desenho.



- Seleção do piso
- Seleção do tramo a desenhar
- Abrir ficheiros necessários ao desenho
- Inserção da largura do pilar
- Desenhar tramo selecionado

Figura 91 – *Plug-in* para o desenho das vigas (versão 1.0).

De forma a demonstrar os desenhos obtidos com a primeira versão do presente *plug-in*, irão ser desenhados três tramos de uma viga, um na extremidade esquerda, um tramo intermédio e um de extremidade direita.

Na figura 92 apresenta-se o ficheiro (.VCD) com os dados das armaduras dos elementos a desenhar.

```

-----|
|      5| AS | 5@16+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 2@16+ 0@ 0| 3@16+ 0@ 0| 5@16+ 0@ 0|
|      | | 1.45      | 0.00      |-----| 1.65      | 1.45      |
|      +-----+-----+-----+-----+-----+
|      | AI | 0@ 0+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 2@12+ 3@16| 0@ 0+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0|
|-----| | 0.00      | 0.00      |-----| 0.00      | 0.00      |
|.250 .250+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 1 |EST.| f 8 //0.075| f 0 //0.000| f 6 //0.200| f 0 //0.000| f 8 //0.075|
| 0 0 | | 1.85 ( 2)| 100.00      |-----| ( 2)| 100.00      | 2.10 ( 2)|
|-----+-----+-----+-----+-----+
|-----+-----+-----+-----+-----+
|      6| AS | 5@16+ 0@ 0| 4@16+ 0@ 0| 3@16+ 0@ 0| 3@16+ 0@ 0| 5@16+ 0@ 0|
|      | | 1.40      | 1.65      |-----| 1.65      | 1.40      |
|      +-----+-----+-----+-----+-----+
|      | AI | 3@12+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 5@12+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 3@12+ 0@ 0|
|-----| | 0.60      | 0.00      |-----| 0.00      | 0.60      |
|.250 .250+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 1 |EST.| f 8 //0.075| f 0 //0.000| f 6 //0.200| f 0 //0.000| f 8 //0.075|
| 0 0 | | 1.95 ( 2)| 100.00      |-----| ( 2)| 100.00      | 1.95 ( 2)|
|-----+-----+-----+-----+-----+
|-----+-----+-----+-----+-----+
|      7| AS | 5@16+ 0@ 0| 3@16+ 0@ 0| 2@16+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 4@16+ 0@ 0|
|      | | 1.45      | 1.65      |-----| 0.00      | 1.45      |
|      +-----+-----+-----+-----+-----+
|      | AI | 0@ 0+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0| 2@12+ 2@16| 0@ 0+ 0@ 0| 0@ 0+ 0@ 0|
|-----| | 0.00      | 0.00      |-----| 0.00      | 0.00      |
|.250 .250+-----+-----+-----+-----+-----+
| 1 1 |EST.| f 8 //0.075| f 0 //0.000| f 6 //0.200| f 0 //0.000| f 8 //0.075|
| 0 0 | | 2.10 ( 2)| 100.00      |-----| ( 2)| 100.00      | 1.85 ( 2)|
|-----+-----+-----+-----+-----+
|-----+-----+-----+-----+-----+

```

Figura 92 – Ficheiro (.VCD) dos tramos a desenhar,

Na figura 93 é apresentado o ficheiro (.ARM) com os dados relativos à geometria de cada elemento em três pontos (nas extremidades e a meio vão). Os dados apresentados são a base (B) e a altura (H) do elemento, ambos em centímetros e o comprimento (X) em metros nos mesmos pontos.

| BARRA | B * H | X | Msd (KN*m) | Mred | As1 e As2 |
|-------|-------|------|------------|-------|------------|
| 5 | 30 50 | 0.00 | -112.46 | 0.128 | 7.52 0.00 |
| 5 | 30 50 | 2.50 | 76.13 | 0.086 | 4.96 0.00 |
| 5 | 30 50 | 5.00 | -145.29 | 0.165 | 10.01 0.00 |
| 6 | 30 50 | 0.00 | -137.96 | 0.157 | 9.43 0.00 |
| 6 | 30 50 | 2.50 | 63.75 | 0.072 | 4.12 0.00 |
| 6 | 30 50 | 5.00 | -137.97 | 0.157 | 9.44 0.00 |
| 7 | 30 50 | 0.00 | -145.40 | 0.165 | 10.02 0.00 |
| 7 | 30 50 | 2.50 | 76.17 | 0.086 | 4.96 0.00 |
| 7 | 30 50 | 5.00 | -112.92 | 0.128 | 7.56 0.00 |

Figura 93 – Ficheiro (.ARM) dos tramos a desenhar,

Os restantes dados necessários para os desenhos, retirados do ficheiro com os parâmetros do pórtico são:

- ❖ Recobrimento = 0.05 m.
- ❖ Classe do betão = B25 (REBAP) → C20/25 (EC) e classe do aço = A400 (REBAP) → S400 (EC)

Por último, o valor inserido no *plug-in* como “largura do pilar” foi de 0.4 m. Este valor, como já referido anteriormente é usado apenas nos elementos em contacto com a extremidade da estrutura.

Seguidamente apresentam-se diversas figuras relativas à barra 5 (viga de extremidade esquerda), nas quais se incluem diversas perspetivas do elemento.

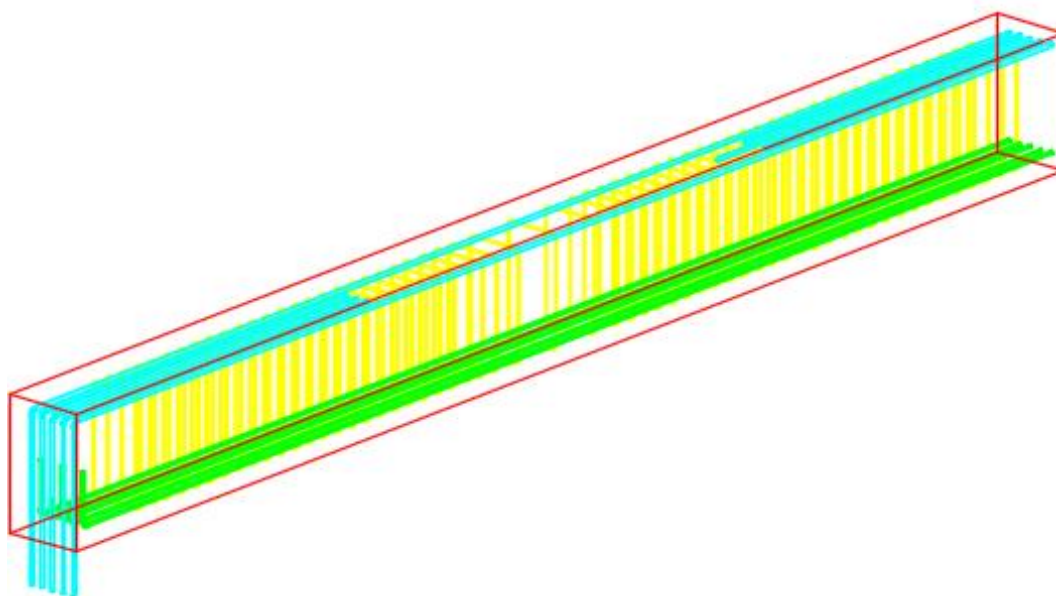


Figura 94 – Desenho barra 5 completa.

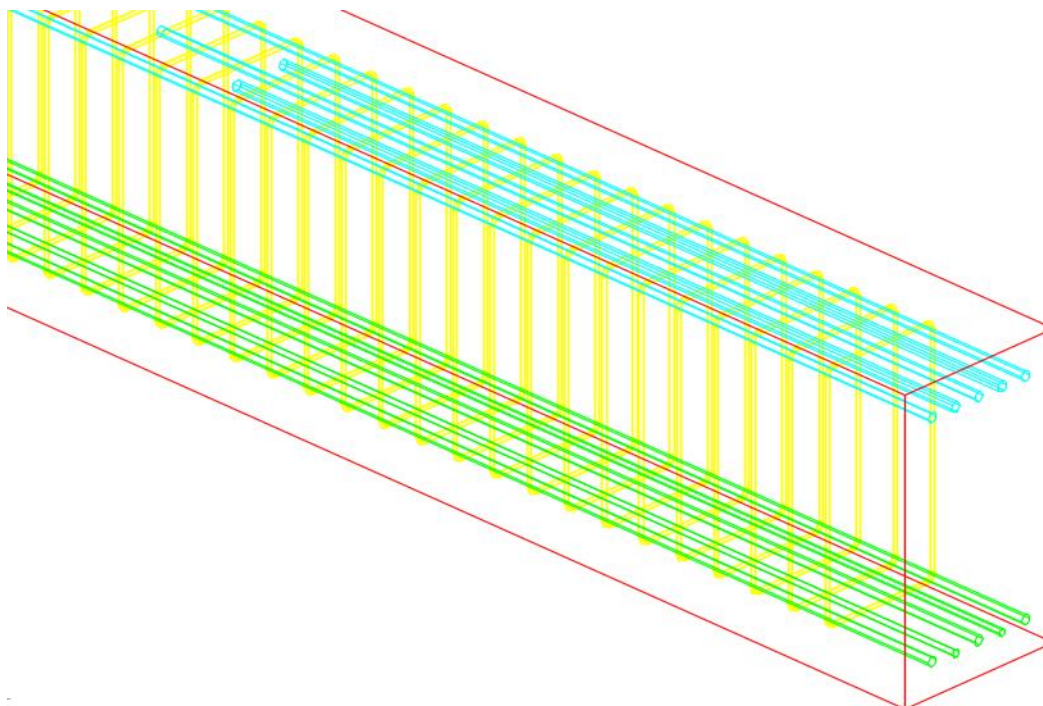


Figura 95 – Pormenor barra 5,

As figuras seguintes são relativas à barra 6 (viga intermédia).

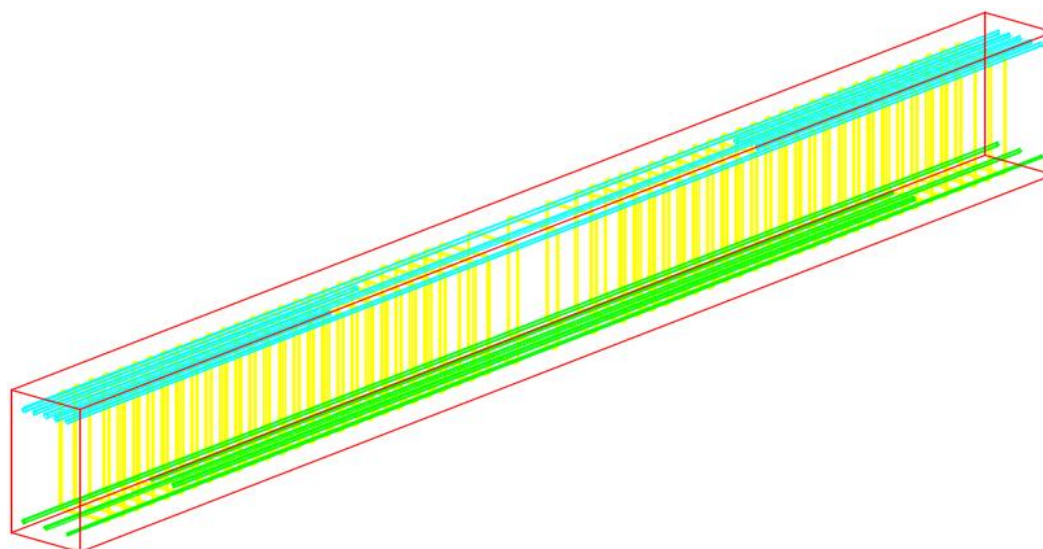


Figura 96 – Desenho da barra 6 completa.

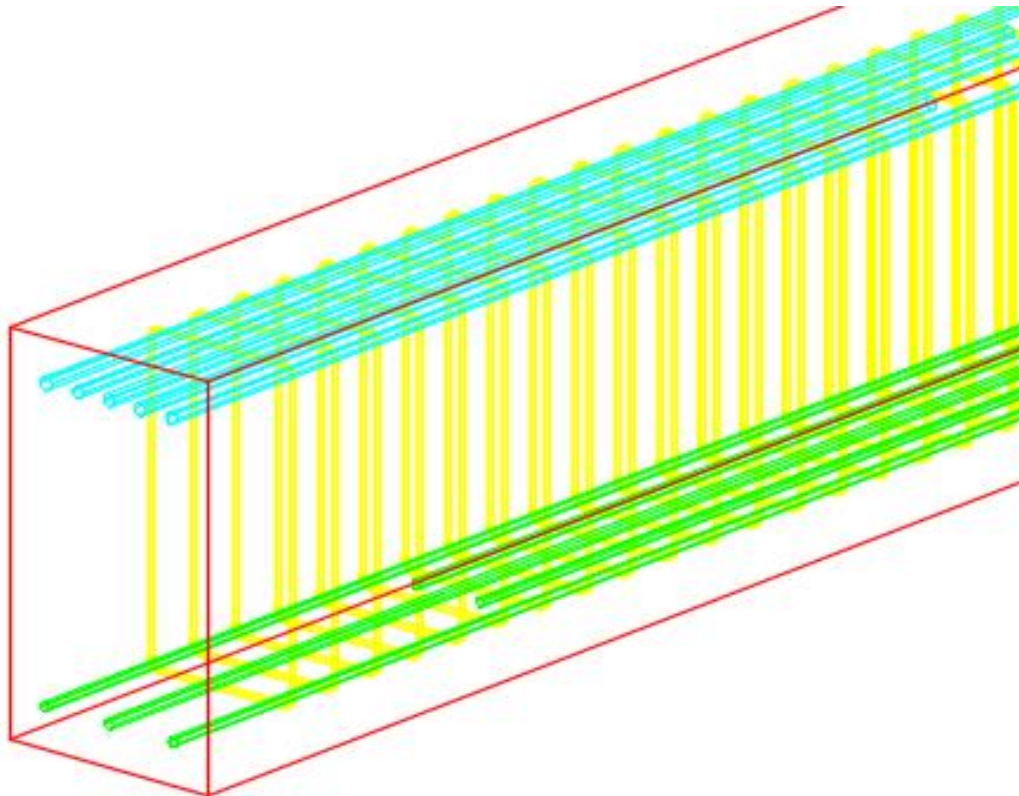


Figura 97 – Pormenor da barra 6 com dispensas da armadura longitudinal.

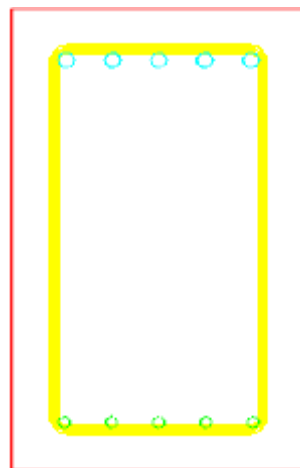


Figura 98 – Perfil transversal da barra 6.

As figuras seguintes são relativas à barra 7 (viga de extremidade direita).

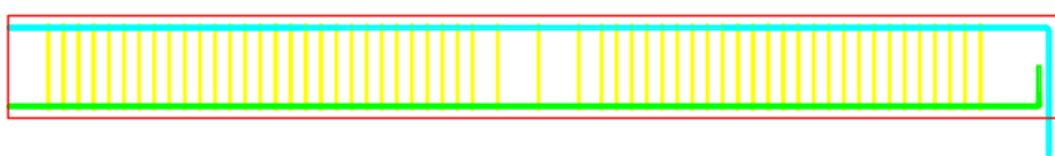


Figura 99 – Viga lateral da barra 7 completa.

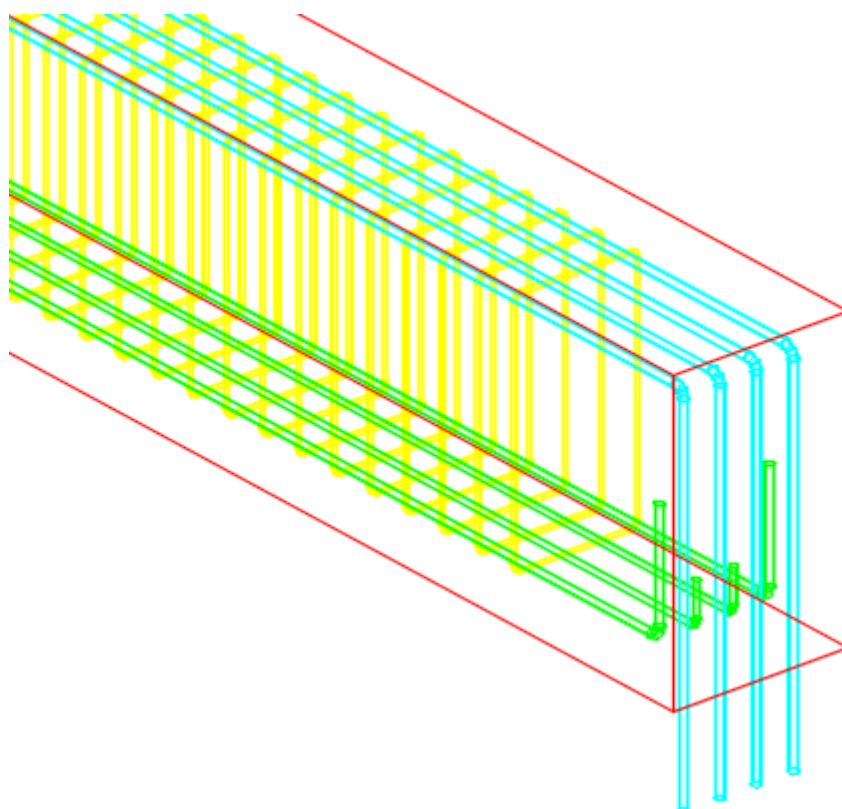


Figura 100 – Pormenor da barra 7.

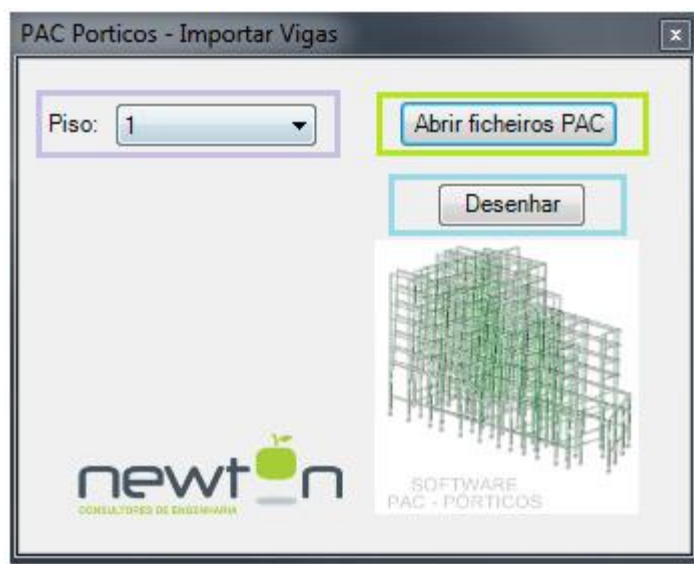
Em todas as imagens referentes à primeira versão do *plug-in* para o desenho das vigas é visível (pelas cores distintas) que foram criados e atribuídos diversos *layers* de forma a facilitar a interpretação do desenho.

Entre estes *layers*, representa-se a vermelho o relativo à geometria da viga, a verde o referente às armaduras longitudinais inferiores, a azul as armaduras longitudinais superiores e por último, a amarelo os estribos.

Após ter sido finalizada a primeira versão, surgiu a necessidade de criar uma segunda versão do mesmo *plug-in* de forma a implementar novas características no mesmo.

As alterações efetuadas na segunda versão foram no sentido de desenhar a viga completa independentemente do número de tramos que esta tenha. Para além disso também foram alteradas as propriedades dos *layers*, pois estes passaram a distinguir as armaduras pelo diâmetro dos varões e não pelo tipo de armadura.

A interface do *plug-in* sofreu algumas alterações, mantendo no entanto as suas características. Para desenhar, basta ao utilizador abrir os ficheiros de leitura de dados e seleccionar o piso do pórtico relativo à viga a desenhar. Após estes dois passos é possível executar o comando de desenho.



- Seleção do piso
- Abrir ficheiros necessários ao desenho
- Desenhar tramo selecionado

Figura 101 – Plug-in para o desenho das vigas (versão 2.0).

Após ser executado o comando de desenhar, são lidos, o número de tramos de viga a desenhar e detetar o número de pilares que servem de apoio a toda a viga. Posteriormente questiona, individualmente, seguindo o sentido da esquerda para a direita, a largura de todos os pilares detetados.

De forma a demonstrar o funcionamento e os desenhos obtidos com a segunda versão do presente *plug-in*, irão ser desenhados os mesmos três tramos da viga apresentada na primeira versão.

Como são três os tramos a desenhar, os pilares considerados são dois nas extremidades da viga e outros dois intermédios entre os tramos da viga. Assim sendo, antes de iniciar os desenhos, é perguntado ao utilizador a largura de cada um destes pilares como se apresenta no exemplo abaixo, relativo ao primeiro apoio (pilar da extremidade esquerda).

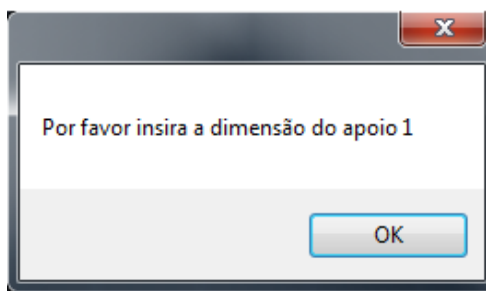


Figura 102 – Identificação do pilar a que se insira a largura (exemplo - apoio 1).

A largura considerada para todos os pilares neste presente exemplo foi de 0.4 m, como apresentado na figura seguinte.

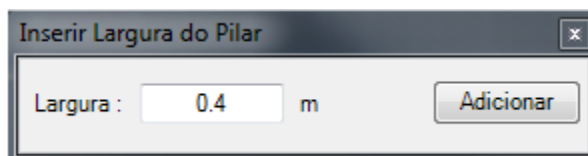


Figura 103 – Inserção da largura do pilar.

Apresentam-se seguidamente alguns exemplos das representações em perspetiva para os três tramos da mesma viga correspondentes às barras (5, 6 e 7).

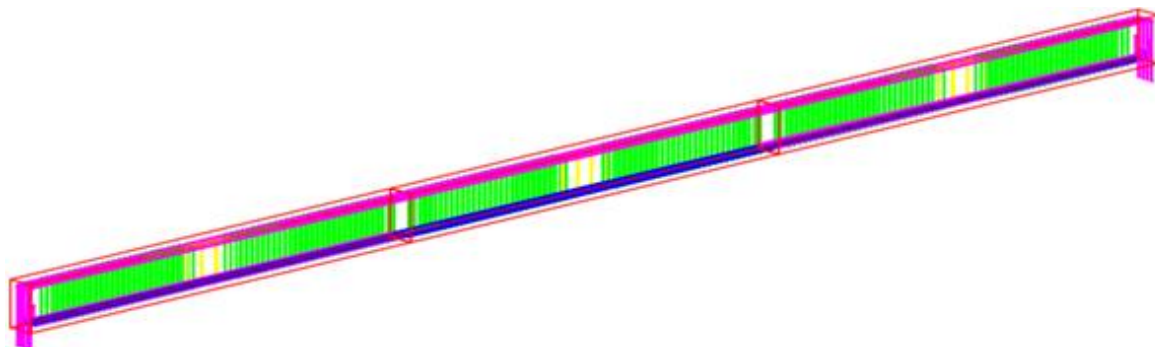


Figura 104 – Desenho de viga completa barras (5, 6 e 7).

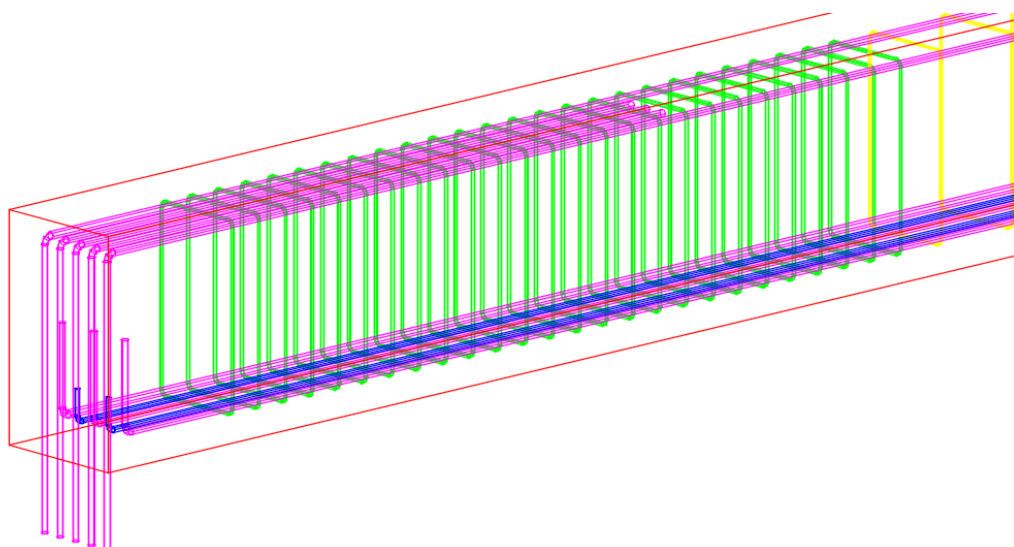


Figura 105 – Pormenor viga completa barras (5, 6 e 7) – extremidade esquerda.

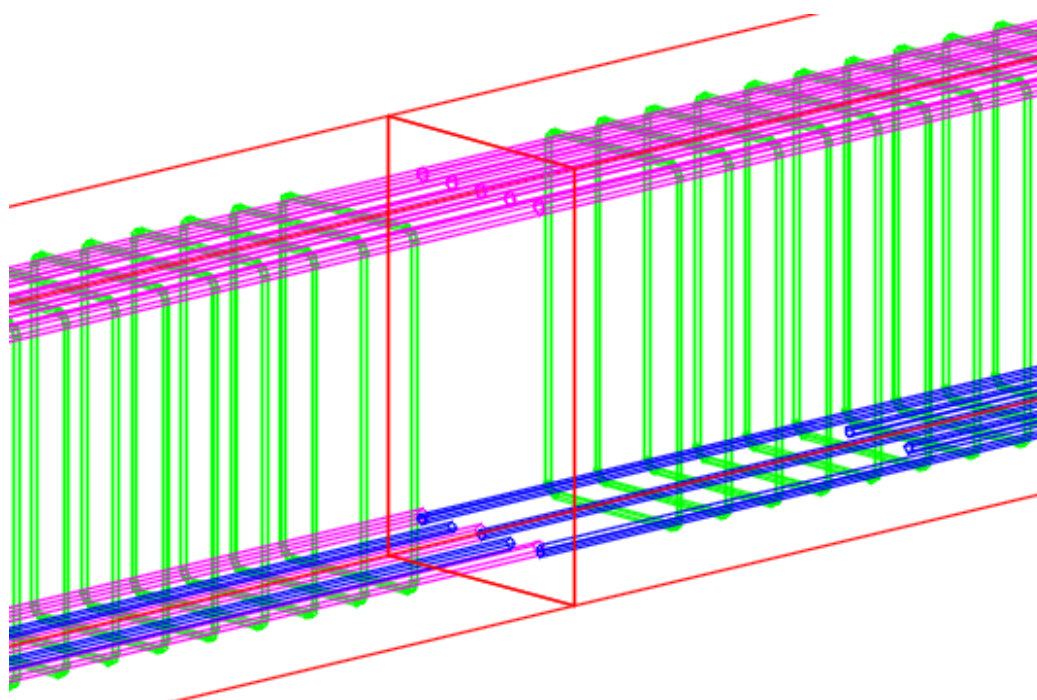


Figura 106 – Pormenor viga completa barras (5, 6 e 7) – ligação entre tramos.

Como já referido anteriormente, os *layers* distinguem as armaduras pelo diâmetro. No exemplo apresentado é visível que há um que se mantém da versão anterior, que é o representado com a cor vermelha relativo à geometria da viga. Relativamente às armaduras presentes no caso exibido, verifica-se que há um *layer* distinto, cada um com uma determinada cor associado a cada diâmetro de varão.

5.2.2 – *Plug-in* para os pilares

Criado o *plug-in* com o propósito de desenhar as vigas, criou-se um outro para o desenho dos pilares. Este irá possibilitar o desenho dos pilares de toda a estrutura, mas para tal ser possível, foi necessário retirar informação de cada elemento lendo apenas um ficheiro (.RPG), sendo que a restante informação necessária ao desenho tem de ser introduzida pelo utilizador.

Criado o código preparado para ler toda a informação necessária, procedeu-se à conceção do código responsável pelo desenho de cada peça.

O procedimento de programação seguiu o mesmo princípio do das vigas, ou seja, baseou-se em criar diferentes métodos de desenho para cada sólido presente no elemento, desenhando o próprio pilar, as cintas e a armadura longitudinal, respetivamente, de forma individual e posteriormente colocando todos estes elementos nas respetivas posições.

Os principais aspetos do desenho dos sólidos para os pilares são idênticos aos correspondentes das vigas, porém, foi necessário realizar certas adaptações ao método de desenho. Seguidamente são apresentadas as principais adaptações efetuadas para cada componente de desenho.

5.2.2.1 – *Geometria do pilar*

Para o desenho da geometria do pilar foram respeitados alguns cuidados de forma a desenhar corretamente cada tramo do mesmo. Tal como acontece nas vigas, antes do *plug-in* proceder ao desenho do elemento selecionado, são identificados os diversos tramos de cada pilar podendo estes assumir umas das seguintes posições:

- ❖ Base, tramos que ligam as fundações ao primeiro piso do pórtico.
- ❖ Topo, correspondem ao último tramo de cada pilar, exceto nos casos em que o pilar só contém um tramo, nestes casos os tramos são considerados Base.
- ❖ Tramos intermédios, tramos que não pertencem a nenhuma das possibilidades precedentes, tratando-se de tramos intermédios que não estão em contacto com nenhuma das extremidades do pilar.

Seguindo a metodologia das vigas, a posição do elemento no pilar vai ter influência direta no seu desenho, já que haverá necessidade de adicionar um alongamento ao tramo, dependendo da sua

posição no pilar. Acompanhando o princípio utilizado para as vigas, para o desenho de cada tramo de pilar, individualmente, há um ajuste no comprimento do elemento, mas neste caso, esse acontece em ambas as extremidades.

No caso de ser um tramo designado com a posição “Base”, este irá ter um acréscimo de secção na parte inferior, com o propósito de prolongar o pilar até ao elemento de fundação, independentemente da profundidade a que esta esteja. Relativamente à parte superior do tramo para a referida posição, assim como para as duas outras posições em ambas as partes (inferior e superior), há uma adição de secção que corresponde à espessura da viga conectada ao mesmo.

Apresenta-se no anexo K parte representativa do início do código responsável por desenhar a geometria dos pilares.

5.2.2.2 – Armaduras transversais

Para o desenho das cintas a informação necessária foi obtida do ficheiro (.RPG) que contém os varões e o espaçamento entre estes. A metodologia utilizada para o desenho das armaduras transversais para os pilares é muito idêntica à usada para as mesmas das vigas, não consideradas no entanto, quaisquer dispensas ao longo do elemento.

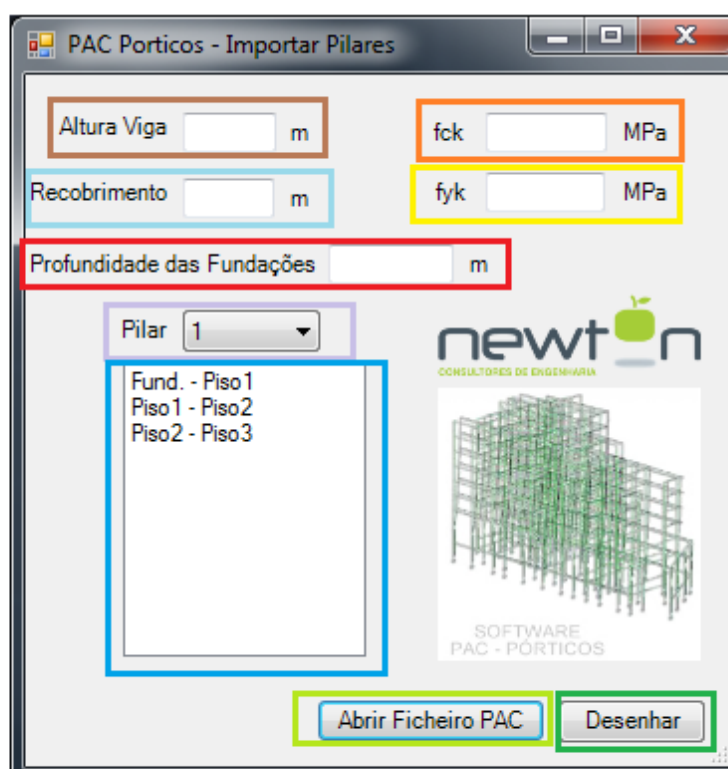
5.2.2.3 – Armaduras longitudinais

Para o desenho das armaduras longitudinais a informação necessária foi obtida do ficheiro (.RPG), que contém a área de aço a ser aplicada com o número e o diâmetro de varões a empregar, assim como a distribuição destes no elemento. A metodologia utilizada para o desenho das armaduras longitudinais para os pilares é muito idêntica à usada para as longitudinais nas vigas, no entanto, tal como acontece para as armaduras transversais, estas não têm qualquer dispensa ao longo do elemento.

5.2.2.4 – Funcionamento *plug-in*

A primeira versão do presente *plug-in* foi criada para desenhar de forma individual cada barra correspondente a um pilar, ou seja, para desenhar cada tramo do pilar.

Seguidamente é apresentada a interface do *plug-in* bastante simples e intuitivo. Nesta é solicitado ao utilizador que insira alguns parâmetros que não estão disponíveis no ficheiro lido. Para o desenho de cada tramo é necessário o utilizador abrir o ficheiro respetivo, selecionar o pilar (tramo) a desenhar e inserir cinco parâmetros.












- | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|  | Seleção do pilar |  | Inserir profundidade das funções para o respetivo pilar |
|  | Seleção do tramo a desenhar |  | Inserir classe de resistência do betão |
|  | Abrir ficheiro necessário ao desenho |  | Inserir classe de resistência do aço |
|  | Inserir altura da viga |  | Desenhar tramo selecionado |
|  | Inserir recobrimento | | |

Figura 107 – *Plug-in* para o desenho dos pilares (versão 1.0).

Adaptação do programa PAC-Pórticos ao EC2 e sua integração com o conceito BIM

Apresentam-se seguidamente os desenhos de três tramos de um pilar obtidos com a primeira versão do presente *plug-in*. Um tramo de base, um tramo intermédio e um tramo de topo.

De seguida é apresentado o ficheiro (.RPG) com os dados das armaduras e de geometria dos elementos a desenhar.

| PILAR P | b(m) | h(m) | l(m) | a1x | a2x | etax | lox(m) | Lambdax | a1y | a2y | etay | lo(m)y | Lambday | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|------------|------|------------|------------|---------------|---------------|-----------------------|----------|
| PT. da MALHA- | 1 | NSD (kN) | MSDX,e (kN*m) | MSDX,d (kN*m) | MSDY,e (kN*m) | MSDY,d (kN*m) | ETAX | EXCTX (cm) | ETAY | EXCTY (cm) | NSD,c (kN) | MSDX,c (kN*m) | MSDY,c (kN*m) | As (cm ²) | LOCAL |
| Fund. - Piso 1 | 1 | .35 | .25 | 3.00 | 1.00 | .70 | 1.25 | 3.76 | 52.2 | 1.00 | .93 | 1.29 | 3.87 | 38.3 | |
| Combinacao 16 | | 335. | 20.7 | 23.3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 335. | 36.9 | 105.1 | 23.17 | Ext. Esq |
| Combinacao 12 | | 325. | 53.5 | 50.2 | 35.8 | 42.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 325. | 65.9 | 55.8 | 21.50 | Ext. Dir |
| Combinacao 15 | | 307. | -7.3 | .3 | 91.2 | 85.4 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 307. | 22.1 | 103.9 | 18.56 | Ext. Esq |
| Combinacao 14 | | 212. | 20.7 | 23.3 | -67.2 | -37.6 | 1.00 | 4.84 | 1.00 | 4.14 | 212. | 31.0 | 75.9 | 15.97 | Ext. Esq |
| As,calc= 23.17 cm ² (2.65%) : As,min= 5.25 cm ² : As,ef= 4f25+ 2f20(face sup.= 2+ 1): cintas = (f 8af. de .24m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Piso 1 -Piso 2 | | .35 | .25 | 3.00 | .70 | .70 | 1.21 | 3.63 | 50.3 | .93 | .93 | 1.28 | 3.83 | 37.9 | |
| Combinacao 16 | | 200. | 28.2 | 28.8 | 84.0 | 87.2 | 1.00 | 4.64 | 1.00 | 4.10 | 200. | 38.1 | 95.4 | 22.37 | Ext. Dir |
| Combinacao 4 | | 321. | 39.7 | 39.9 | 77.6 | 75.0 | 1.00 | 4.64 | 1.00 | 4.10 | 321. | 54.6 | 90.7 | 25.10 | Ext. Esq |
| Combinacao 2 | | 319. | 41.0 | 41.3 | 71.4 | 67.7 | 1.00 | 4.64 | 1.00 | 4.10 | 319. | 55.8 | 84.5 | 24.20 | Ext. Esq |
| Combinacao 12 | | 196. | 50.5 | 52.7 | 48.4 | 47.7 | 1.00 | 4.64 | 1.00 | 4.10 | 196. | 61.8 | 55.7 | 20.03 | Ext. Dir |
| As,calc= 25.10 cm ² (2.87%) : As,min= 5.25 cm ² : As,ef= 8f25+ 0f 0(face sup.= 3+ 0): cintas = (f 8af. de .25m) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Piso 2 -Piso 3 | | .35 | .25 | 3.00 | .70 | .35 | 1.16 | 3.47 | 48.1 | .93 | .46 | 1.21 | 3.63 | 35.9 | |
| Combinacao 4 | | 116. | 25.9 | 23.6 | 64.2 | 63.8 | 1.00 | 4.41 | 1.00 | 3.88 | 116. | 31.0 | 68.7 | 15.91 | Ext. Esq |
| Combinacao 2 | | 115. | 26.5 | 24.3 | 62.5 | 61.2 | 1.00 | 4.41 | 1.00 | 3.88 | 115. | 31.5 | 66.9 | 15.69 | Ext. Esq |
| Combinacao 1 | | 115. | 25.4 | 22.9 | 62.5 | 61.2 | 1.00 | 4.41 | 1.00 | 3.88 | 115. | 30.5 | 66.9 | 15.49 | Ext. Esq |
| Combinacao 3 | | 114. | 25.9 | 23.6 | 60.8 | 58.5 | 1.00 | 4.41 | 1.00 | 3.88 | 114. | 31.0 | 65.2 | 15.26 | Ext. Esq |
| As,calc= 15.91 cm ² (1.82%) : As,min= 5.25 cm ² : As,ef= 4f25+ 0f 0(face sup.= 2+ 0): cintas = (f 8af. de .25m) | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 108 – Ficheiro (.RPG) dos tramos a desenhar,

Os restantes dados necessários para os desenhos, retirados diretamente do *plug-in* são:

- ❖ Altura da viga = 0.40 m.
- ❖ Recobrimento = 0.05 m.
- ❖ Profundidade da fundação = 1 m.
- ❖ f_{ck} = 20 MPa.
- ❖ f_{yk} = 400 MPa.

São agora apresentadas diversas figuras relativas à barra correspondente ao tramo base (Fund. – Piso 1), incluindo diversas perspetivas do elemento.

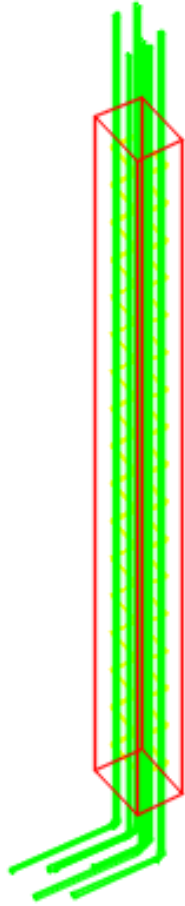


Figura 109 – Barra (Fund. – Piso 1) completa.

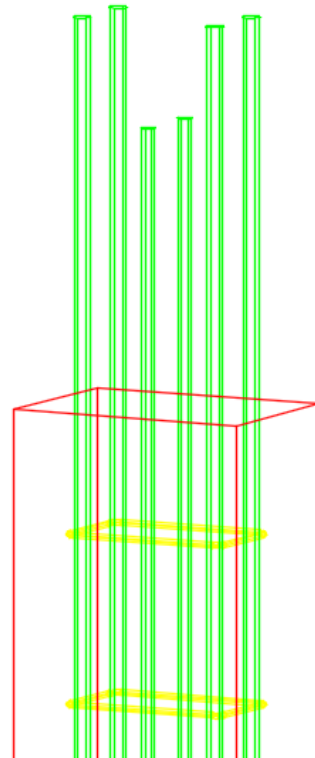


Figura 110 – Pormenor 1 - barra (Fund. – Piso 1).

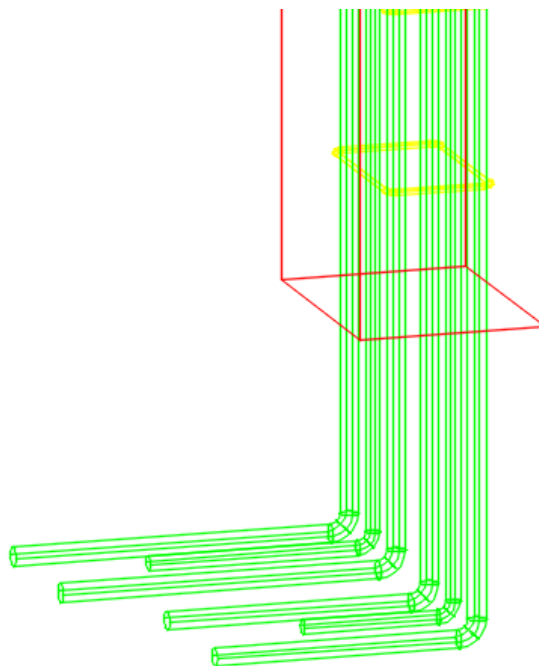


Figura 111 – Pormenor 2 - barra (Fund. – Piso 1).

As figuras seguintes são pertencentes à barra correspondente ao tramo intermédio (Piso 1 – Piso 2), incluindo diversas perspetivas do elemento.

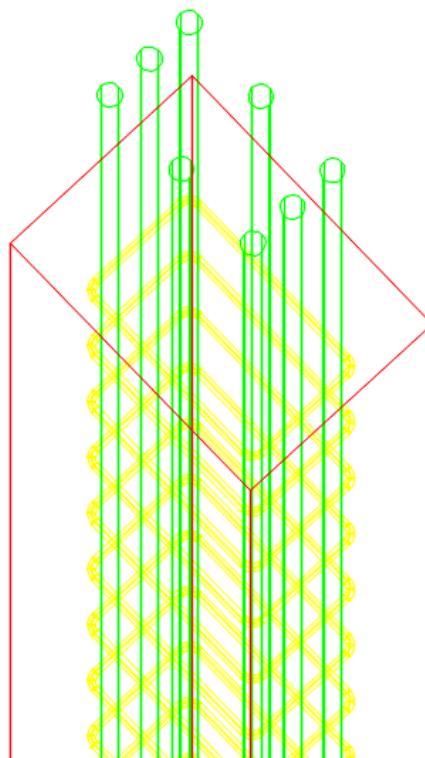
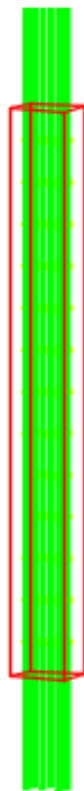


Figura 112 – Barra (Piso 1 – Piso 2) completa.

Figura 113 – Pormenor 1 - barra (Piso 1 – Piso 2).

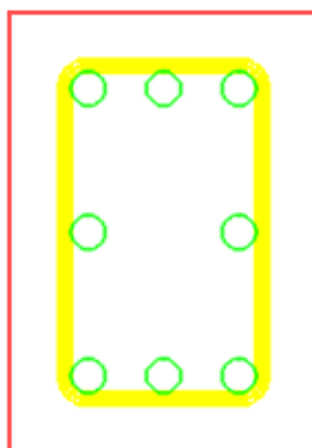


Figura 114 – Perfil transversal - barra (Piso 1 – Piso 2).

As figuras 115, 116 e 117 são pertencentes à barra correspondente ao tramo intermédio (Piso 2 – Piso 3), incluindo diversas perspetivas do elemento.

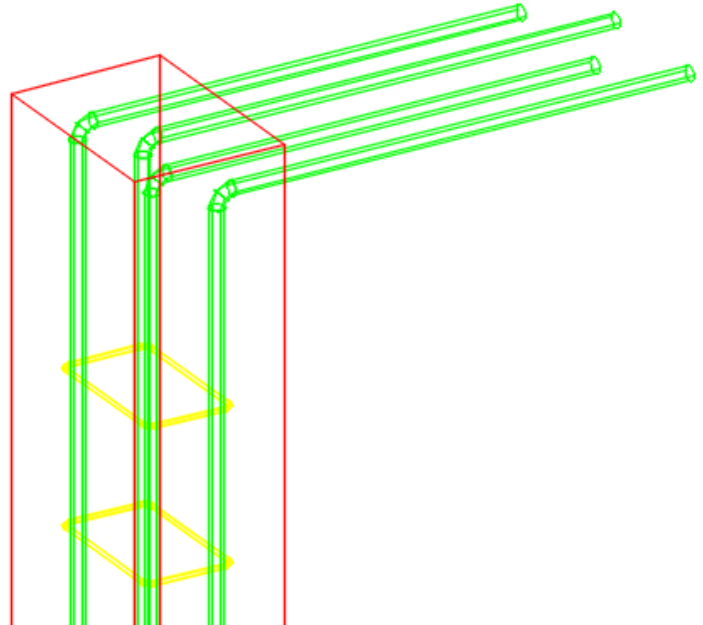


Figura 115 – Barra (Piso 2 – Piso 3) completa.

Figura 116 – Pormenor 1 - barra (Piso 2 – Piso 3).

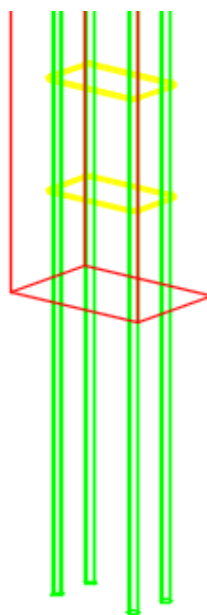


Figura 117 – Pormenor 2 - barra (Piso 2 – Piso 3).

Tal como acontece no caso das vigas, a primeira versão do *plug-in* cria diversos *layers* de forma a facilitar a interpretação do desenho.

Entre estes *layers*, representa-se a vermelho o relativo à geometria da viga, a verde o referente às armaduras longitudinais e por último, a amarelo as cintas.

Observando as imagens relativas ao tramo da base e do topo, percebe-se que as amarrações das armaduras são efetuadas para apenas um dos lados, sendo que pode ocorrer que estes sejam amarrados para dois dos lados, caso tenha armaduras nos quatro bordos do pilar como é visível na figura 118.

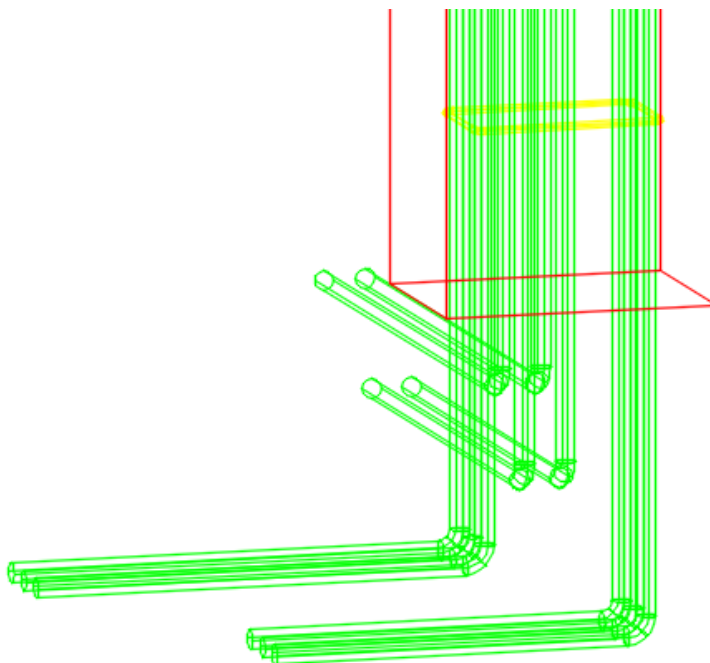


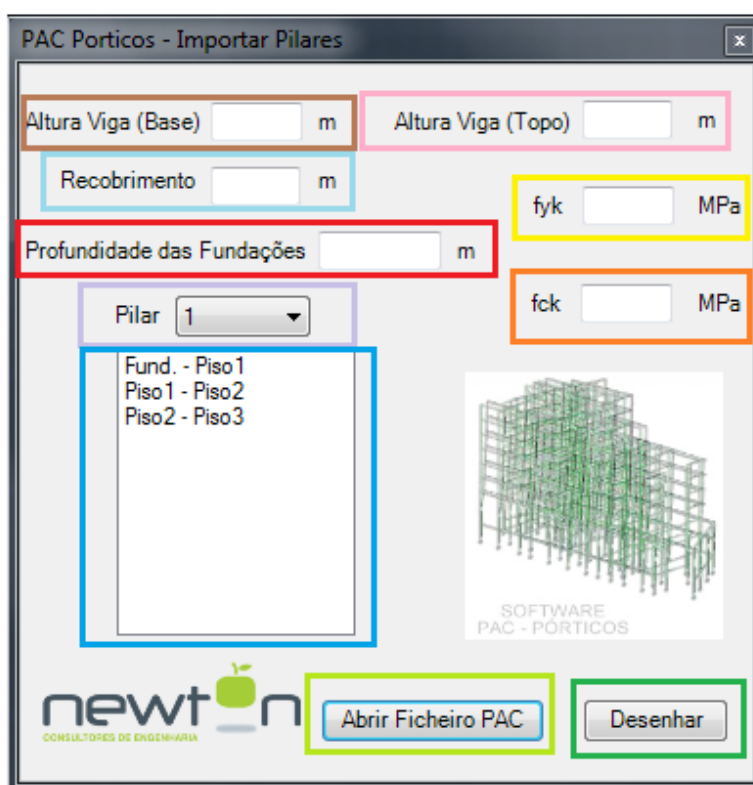
Figura 118 – Pormenor amarração das armaduras para dois lados.

Na prática, a direção da amarração das armaduras longitudinais varia consoante as condições possíveis no local, assim sendo, optou-se por evitar qualquer sobreposição de armaduras no desenho ocupando o número de lados mínimo possível. No entanto recorrendo às funções internas do próprio AutoCAD, há a possibilidade do utilizador rodar cada varão sobre si mesmo, obtendo assim o esboço com as amarrações a coincidir com o que se pretende fazer na prática.

Após ter sido finalizada a primeira versão, foi também criada uma segunda de encontro ao que foi efetuado para o caso das vigas.

As alterações efetuadas na segunda versão foram no sentido de possibilitar a inserção da altura da viga na parte inferior e superior de cada tramo de pilar. Para além disso também foram alteradas as propriedades dos *layers*, tal como foi feito no caso das vigas, pois passou-se a distinguir as armaduras pelo diâmetro do varão e não pelo tipo de armadura que faziam na primeira versão.

A interface do *plug-in* manteve-se basicamente a mesma. O único aspeto diferenciador é existir mais um parâmetro para inserir antes de proceder à realização do desenho.



- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Seleção do pilar |  Inserir recobrimento |
|  Seleção do tramo a desenhar |  Inserir profundidade das fundações para o respetivo pilar |
|  Abrir ficheiro necessário ao desenho |  Inserir classe de resistência do betão |
|  Inserir altura da viga (<u>Base</u>) |  Inserir classe de resistência do aço |
|  Inserir altura da viga (<u>Topo</u>) |  Desenhar tramo selecionado |

Figura 119 – Plug-in para o desenho dos pilares (versão 2.0).

As figuras 120 e 121 apresentam alguns desenhos correspondentes a um tramo exemplo, de posição base com 4 $\phi 25$ e 4 $\phi 20$ como armaduras longitudinais e $\phi 8$ para as cintas.

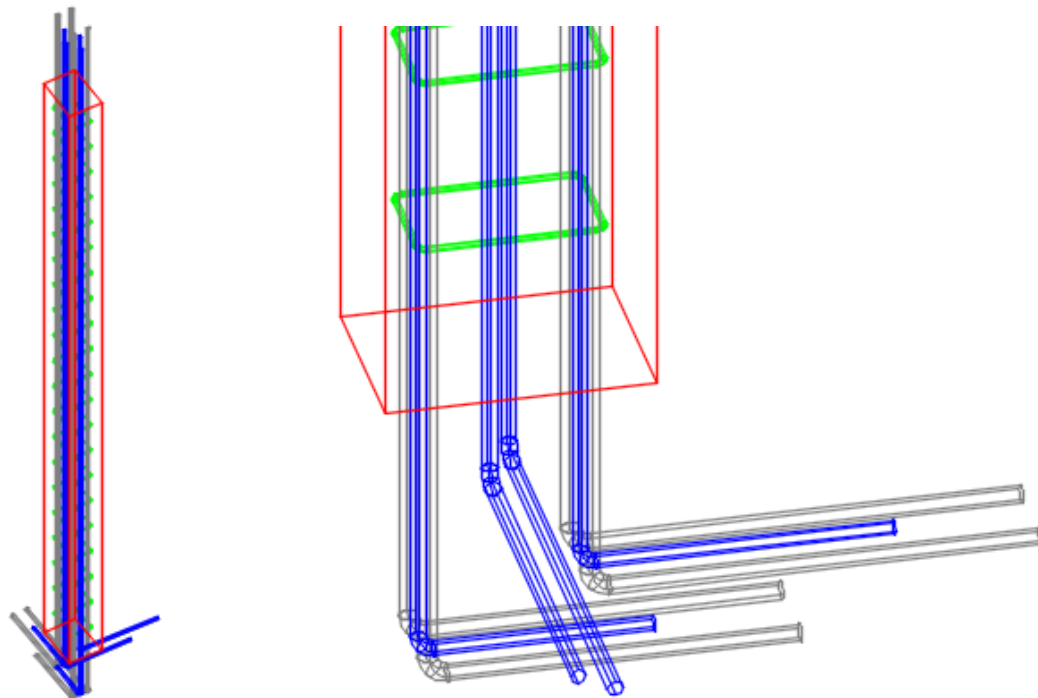


Figura 120 – Barra exemplo completa. Figura 121 – Pormenor da barra exemplo

Como já referido anteriormente, os *layers* distinguem as armaduras pelo diâmetro. No exemplo apresentado é visível que há um que se mantém da versão anterior, que é o representado com a cor vermelha relativo à geometria do pilar. Relativamente às armaduras, verifica-se que há um *layer* distinto para cada diâmetro de varão.

5.2.3 – Ligação AutoCAD – Ferramentas BIM

Como já referido anteriormente, a criação de cada *plug-in* garante de certa forma uma integração do PAC-Pórticos com a metodologia BIM pois as principais ferramentas desta, atualmente, têm a funcionalidade de abrir e editar ficheiros provenientes do AutoCAD.

A título ilustrativo acede-se a um dos desenhos no formato de ficheiro (.DWG) originário do AutoCAD numa das ferramentas BIM. O programa escolhido para este exemplo (Revit) é também ele comercializado pela Autodesk.

Há diversas formas de importar um ficheiro (.DWG) para o Revit, no entanto, para o presente exemplo optou-se por usar o comando Link CAD. Este cria uma ligação com o ficheiro carregado, de forma a que quando este é modificado de alguma forma, o mesmo acontece dentro do Revit, ou seja, atualiza o desenho automaticamente.

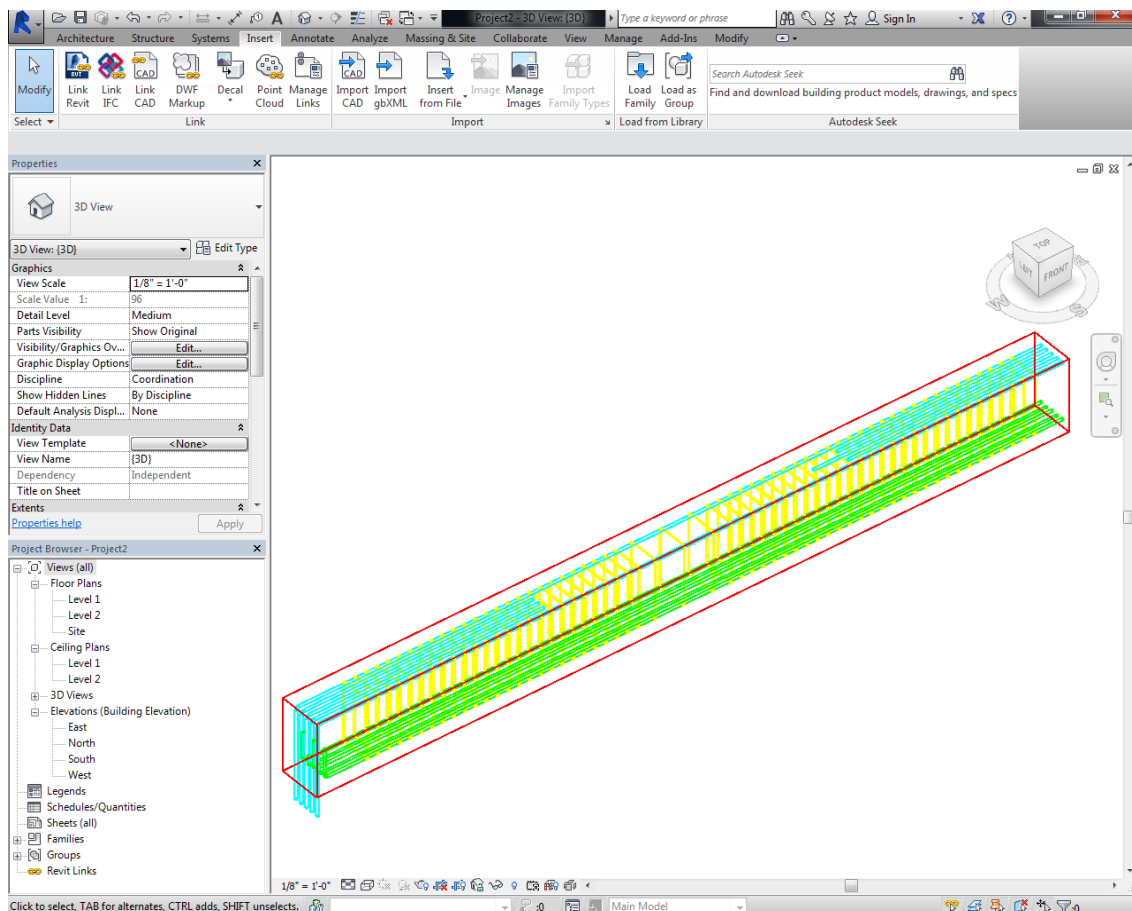


Figura 122 – Visualização da viga desenhada no Revit.

Como é visível na figura 122, é possível carregar os desenhos originários do AutoCAD para uma ferramenta BIM sem qualquer imperfeição.

É necessário ressaltar que depois de importado o desenho é possível adicionar todos parâmetros a cada sólido (o elemento de betão e armaduras). Entre estes parâmetros há o principal, que é próprio material de que é constituído o respetivo sólido. No entanto, para tal ser possível, é necessário explorar diversas potencialidades do *software* (neste exemplo demonstrado, o Revit) que não serão exploradas no presente documento.

Em alternativa à importação de ficheiros provenientes do AutoCAD para uma das ferramentas BIM há a hipótese de, em certas versões do AutoCAD, exportar diretamente os desenhos para o formato de ficheiro IFC, cumprindo assim indiretamente um dos objetivos do presente trabalho. A figura seguinte apresenta um menu do AutoCAD Architecture 2016, sendo que nela é visível a opção de exportar para diversos formatos, entre estes o IFC.

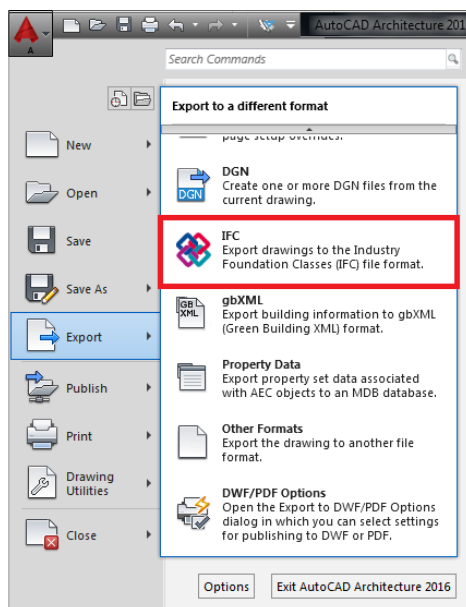


Figura 123 – Exportar para IFC diretamente do AutoCAD – Architecture.

6 – Considerações finais

Pode-se dizer que, inicialmente, o presente trabalho tinha dois grandes objetivos. O primeiro a adaptação do programa PAC-Pórticos ao EC2 e o segundo a integração do programa com o conceito BIM.

Para a concretização do primeiro objetivo foram atravessadas diversas etapas, a primeira das quais envolveu um estudo do PAC-Pórticos. Este estudo incidiu inicialmente na aprendizagem do funcionamento do *software* e a exploração de todas as suas funcionalidades e posteriormente, no desenvolvimento de uma apresentação resumida do programa que está inserida no capítulo 2 relativo ao estado da arte.

Concluída a primeira etapa, iniciou-se a comparação entre os regulamentos relativos ao betão armado e pré-esforçado, nomeadamente entre o nacional REBAP e o europeu EC2 visível no capítulo 3. Neste ponto foi dada continuidade ao trabalho já desenvolvido nesta matéria, no entanto, é importante referir que todos os artigos apresentados foram analisados e a própria comparação foi alvo de certas modificações, de forma a tornar a mesma mais inteligível e abrangente.

Numa fase posterior procedeu-se à adaptação do código de dimensionamento das vigas e dos pilares para a regulamentação europeia. Esta constitui-se como a fase do trabalho que mais exigiu tanto em tempo como em dedicação, pois antes mesmo de alterar o código foi necessário atravessar várias dificuldades no que respeita à possibilidade de executar o código de dimensionamento e comprovar os resultados oriundos do mesmo. Concretamente a causa dessas dificuldades resultou dos problemas encontrados na compilação e *linkagem* do código de dimensionamento das vigas e dos pilares. Foi necessário, inicialmente, testar um emulador MS-DOS, proceder a uma familiarização com os compiladores de Fortran disponíveis, assim como, adaptar certas partes do código original aos compiladores utilizados.

Realizadas todas as modificações no código e todos os testes necessários ao funcionamento do mesmo (apresentados no capítulo 4), iniciaram-se os trabalhos alusivos ao segundo objetivo, ou seja, à integração do PAC-Pórticos com o conceito BIM.

Para a execução do segundo objetivo foram consideradas diversas hipóteses, tal como está exposto no presente documento. Optou-se, no entanto, por criar um *plug-in* para cada elemento considerado na adaptação do código Fortran (vigas e pilares) usando o Visual Studio e recorrendo a uma moderna linguagem de programação, o C#. Ao longo do desenvolvimento de cada *plug-in* foi necessário contornar algumas questões relativas ao desenho de cada peça, assim como realizar diversos testes.

No final foi possível apresentar desenhos com uma qualidade satisfatória tendo em conta o tempo disponível para o desenvolvimento deste código.

Finalizado todo este trabalho, pode-se afirmar que, de um modo geral, os principais objetivos foram alcançados. Atualmente, o PAC-Pórticos já é capaz de dimensionar pórticos correntes (vigas e pilares) de acordo com a regulamentação europeia de betão armado (EC2). Para além disso já permite, com o auxílio do AutoCAD, desenhar individualmente tanto os pilares como as vigas em 3D. Estas novas funcionalidades representam um avanço significativo na evolução e atualização do PAC-Pórticos no sentido de, futuramente, retornar a ser uma ferramenta útil e prática para qualquer projetista.

É necessário referir ainda que o estágio acabou por ser uma experiência extremamente enriquecedora a nível pessoal e profissional, tendo permitido a oportunidade de lidar com inúmeros profissionais da área e com eles aprender e expandir os conhecimentos adquiridos durante o período de formação académica.

Para finalizar a conclusão do presente trabalho, serão destacados alguns temas pertinentes a abordar em desenvolvimentos futuros:

- ❖ Adaptar o código já existente que trata o efeito de punçoamento para a regulamentação europeia.
- ❖ Adaptar todo o código responsável pelo dimensionamento das fundações.
- ❖ Conceber pseudo-código para a realização de algoritmia para os restantes elementos estruturais.
- ❖ Aperfeiçoar e desenvolver o código para o desenho 3D das vigas e pilares, permitindo, por exemplo, criar modelos 3D da estrutura completa.

7 – Bibliografia

- [1] REBAP. (1983). Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado. Decreto-Lei n.º 349-C/83, de 30 de Julho. Portugal.
- [2] Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios (2004). EN 1992-1-1. Comité Europeu da Normalização. Bruxelas.
- [3] Appleton J. & França P., Implementação do Eurocódigo 2 – (EN1992-1) em Portugal. Comparação com o REBAP. Lisboa.
- [4] Azevedo, O. M., 2009. Metodologia BIM : building information modeling na direcção técnica de obras. Universidade do Minho (Tese de mestrado).
- [5] Azhar, S., 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry.
- [6] buildingSMART. Em: <http://iug.buildingsmart.org/idms/> (consultado em 15 de Maio de 2015).
- [7] Carlos Lino J., Azenha M., Lourenço P., 2012. Integração da metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. Em: Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL – BE2012.
- [8] Chen, D. & Doumeingts, G. & Vernadat, F., 2008. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future. Computers In Industry.
- [9] Depoli, J., 2009. A Representação Gráfica em Arquitetura – Uma transição 1979 – 2009.
- [10] Fernandes, C. P., 2014. Interoperacionalidade em sistemas de informação. Universidade do Minho (Dissertação de mestrado).
- [11] Ferreira, N. T., 2012. A WebGL application based on BIM IFC. Universidade Fernando Pessoa (Dissertação de mestrado).

[12] Filho, C. F., 2007. História da computação - O caminho do pensamento e da tecnologia.

[13] Gomes, N. V., 2011. Adaptação dos critérios de dimensionamento do REBAP para o EC2 no PAC-Pórticos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Relatório de projeto de mestrado).

[14] Gonçalves, I. V., 2014. Aplicação do BIM ao projeto de estruturas. Instituto Politécnico de Viana do Castelo (Dissertação de mestrado).

[15] Grilo A., Jardim-Gonçalves R., 2010. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. Em: Automation In Construction, vol. 19, nº 5, págs. 522-530. Elsevier Science Bv, 2010.

[16] Harrington, D. J., 2010. The Implementation of BIM Standards at the Firm Level. Paper presented at the Structures Congress 2010, Orlando, Florida, United States.

[17] Khemlani, L., 2004. The IFC Building Model: A Look Under the Hood.

[18] Laakso M., Kiviniemi A., 2012. THE IFC STANDARD - A REVIEW OF HISTORY, DEVELOPMENT, AND STANDARDIZATION. Em: ITcon - Journal of Information Technology in Construction.

[19] Martins, J. P., & Pedroto, M., 2012. Pesquisa estruturada e manipulação de informação no modelo IFC. Requisitos e soluções. 4º Congresso nacional da construção. Porto: FEUP.

[20] Mazzola, V. B. Engenharia de Software. Quoted in Jalvesnicacio.com. 2010. Em: <http://jalvesnicacio.files.wordpress.com/2010/03/engenharia-de-software.pdf> (consultado em: 25 de Fevereiro de 2015))

[21] McGraw-HILL Construction, Building Information Modeling (BIM) Trends Smart Market Report. 2008. Em: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aia077483.pdf> (consultado em: 12 de Março de 2015).

[22] Newton, consultores de Engenharia, Manual PAC-Pórticos, 1991.

- [23] Onuma Planning System. Em: <http://www.onuma.com/>
(consultado em 11 de Maio de 2015).
- [24] PAC-Pórticos – Projecto Assistido por Computador. Em: <http://www.newton.pt/>
(consultado em 15 de Janeiro de 2015).
- [25] PikeResearch. Building Information Modeling - Software, Training/Support Services, and Project Management/Collaboration: Global Market Analysis and Forecasts (EXECUTIVE SUMMARY). 2012. Em: <http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/05/BIM-12-Executive-Summary.pdf> (consultado em: 20 de Maio de 2015).
- [26] Pinho, S. P., 2013. O modelo IFC como agente de interoperabilidade – Aplicação ao domínio das estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Dissertação de mestrado).
- [27] Regulamentação da construção em Portugal. Em: http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/reg_const_Portugal.html (consultado em 10 de Abril de 2015).
- [28] Rocha, J. L., 2010. Utilização do BIM na Reabilitação de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Tese de Mestrado).
- [29] Solihin, W., 2004. Lessons learned from experience of code-checking implementation in Singapore, Success, Challenges, and Future Outlook. Buildingsmart.
- [30] Stine, D., 2010. Making the Switch – AutoCAD to Revit. Em: <http://www.cadalyst.com/cad/building-design/making-switch-%E2%80%94-autocad-revit-13575>
(consultado em 24 de Abril 2015).
- [31] Taborda, Paulo Jorge Santos, 2012. O BIM como plataforma para concursos públicos: contribuição para uma metodologia de implementação. Universidade Nova de Lisboa (Dissertação de mestrado).
- [32] Tavares, T. S., 2013. Análise comparativa de modelos de cálculo automático no âmbito do projeto de estruturas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Dissertação de mestrado).

8 – Anexos

Os anexos do presente documento são apresentados segundo a seguinte ordem:

Anexo A – Parcela de código programado em Fortran alusiva ao dimensionamento da armadura vertical das vigas.

Anexo B – Parcela de código programado em Fortran relativa à interrupção da armadura longitudinal das vigas.

Anexo C – Corte longitudinal do tramo da viga em estudo segundo o REBAP.

Anexo D – Corte longitudinal do tramo da viga em estudo segundo o EC2.

Anexo E – Parcela de código programado em Fortran referente aos efeitos de segunda ordem.

Anexo F – Parcela de código programado em Fortran relativa aos limites regulamentares estabelecidos para as diversas armaduras a dispor no pilar.

Anexo G – Cortes transversais dos pilares segundo o REBAP E EC2.

Anexo H – Parcela de código programado em C# para desenho 3D da geometria das vigas.

Anexo I – Parcela de código programado em C# para desenho dos estribos nas vigas.

Anexo J – Parcela de código programado em C# para desenho das armaduras longitudinais inferiores nas vigas.

Anexo K – Parcela de código programado em C# para desenho 3D da geometria dos pilares.

Anexo A

```

C
C *** CALCULA ARMADURA PARA RESISTIR AO ESFORCO TRANSVERSO
C
SUBROUTINE TRANSV(AES,AFAS,B,CLL,DIAES,DIS,FCD,FSYD,HD,IPISO,
#          IVCDM,NAES,NDIES,NPART,NRAMOS,ROEM,TAU1,TAU2,Crdc,arvic,
#          FCK,ck,Pl,FYK,arvcc)
C
cc$DEBUG
cc$LARGE
C
C      INCLUDE 'COMMON.'
C      PARAMETER(MPISO=101,MVIGS=51,MEVIG=461,MMATD=201,MELED=999,
#              MVFID=301)
C
COMMON/K/K1EXT,K2EXT,NF1EXT,NF2EXT,ADOEXT,ARVEXT
COMMON/DIG/DIGMN(11),DIGMP(11),DIGTN(11),DIGTP(11)
COMMON/ELE/IELEM,NELED
COMMON/EL1/IELVIG,KELEM(MEVIG)
COMMON/LIS/AAC(MEVIG,3),AAR(MEVIG,3),AEC(MEVIG,3),AER(MEVIG,3),
#          BB(MEVIG),CC(MEVIG),HH(MEVIG),ESPES(MPISO)
COMMON /REG/ JREGUL
COMMON /PAR/ ALPA, OTETA
C
C      DIMENSION NDIES(3),NAES(5),AES(5),AFAS(3),DIAES(2),DIS(8)
C
C
C      FYKEC=FYK
C
C      IF (JREGUL.EQ.1) then
C
C          write (*,*) 'arvic',arvic
C          write (*,*) 'arvcc',arvcc
C
C      DO 5 I=1,NPART+1
C      TNEG=ABS(DIGTN(I))
C      DIGTP(I)=ABS(DIGTP(I))
C      IF (TNEG.GT.DIGTP(I)) DIGTP(I)=TNEG
C          write (*,*) 'TNEG',TNEG
5      CONTINUE
C
C      DIV=CLL/NPART
C          write (*,*) 'DIV',DIV
C      IMEIO=NPART/2
C      TEMAX=0
C      TDMAX=0
C      DO 20 I=1,IMEIO+1
C      IF (DIGTP(I).GT.TEMAX) TEMAX=DIGTP(I)
20     CONTINUE
C      DO 11 I=IMEIO+1,NPART+1
C      IF (DIGTP(I).GT.TDMAX) TDMAX=DIGTP(I)
11     CONTINUE
C
C
C          write (*,*) 'TEMAX',TEMAX

```

Anexo B

```

C *** CALCULA COMPRIMENTOS DE AMARRACAO
C
SUBROUTINE AMARRA (B, DD, DEXT, DIAMS, FBDA, FBDN, FSYD, HD,
#           IADER, IAMIN, IEXT, IFACE, TAU2, VSD, X10, X20, FCK,
#           FCTK)
C -----
COMMON /LOC/ AFUNG
COMMON /REG/ JREGUL
COMMON /PAR/ ALPA, OTETA
C -----

      DIAMSS=DIAMS

      IF (JREGUL.EQ.1) then
C       write (*,*) 'REBAP'

          IF (AFUNG.GT.0) THEN
              AL=1.5*HD

              ELSE

              VSREF=2*TAU2*B*HD*1000/3

              IF (VSD.LE.VSREF) THEN
                  AL=HD
              ELSE
                  AL=.75*HD
              ENDIF

C1          ENDIF

              FBD=FBDA
              IF (IADER.EQ.2) FBD=FBDN
              CLB=FSYD*DIAMS/(4*FBD*1000)

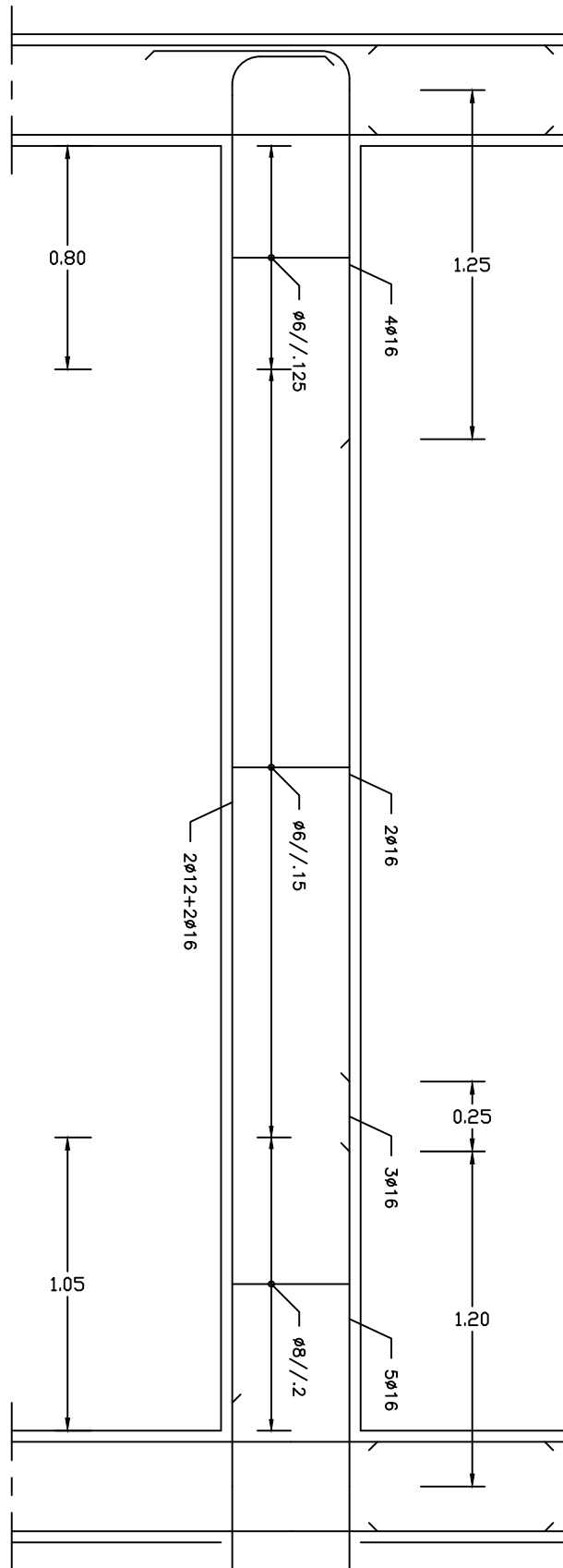
C


              CADER=0.7
              IF ((HD+.03).LE.0.25) CADER=1.0
              IF (IFACE.EQ.2) CADER=1.0
              CLBNET=CLB*CADER
              IF (DD.LT.0.01.AND.IAMIN.EQ.0) THEN
                  DD=DD+CLBNET
              ELSE
                  IF (DD.LT.0.1) DD=0.2
                  DD=DD+AL+CLBNET
              ENDIF

C       write (*,*) 'CLBNET' ,CLBNET
C       write (*,*) 'DD' ,DD
C

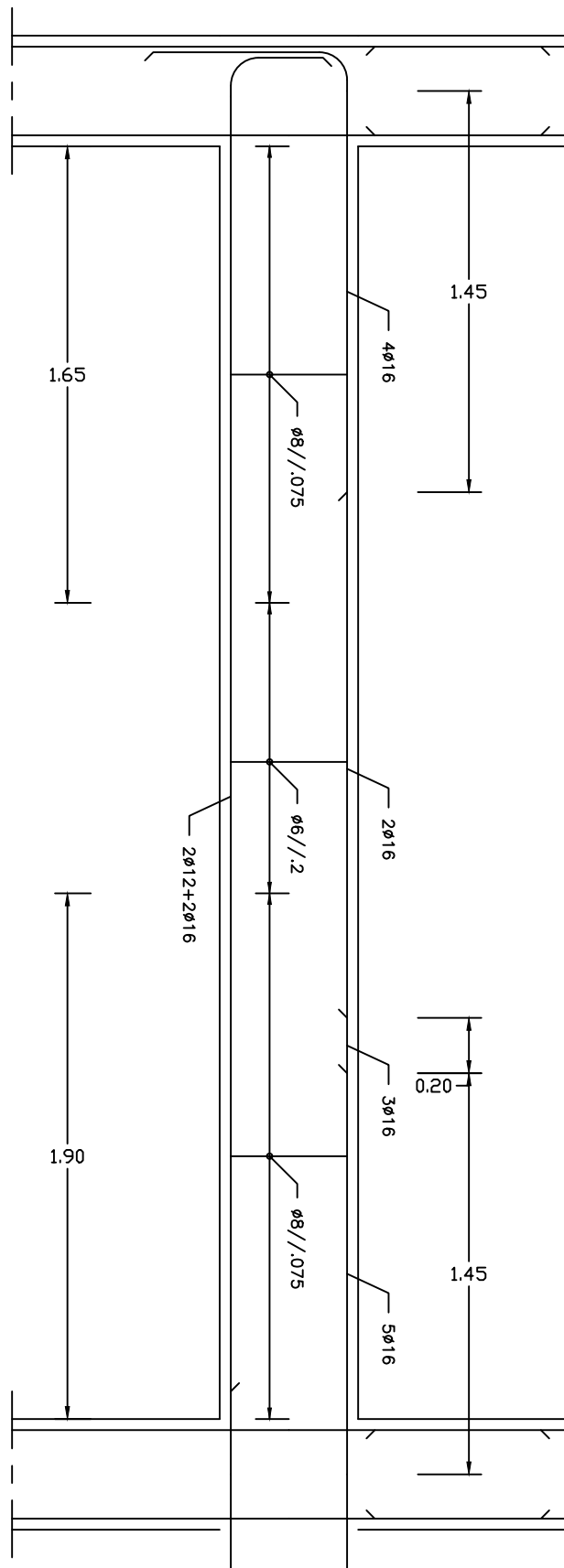
```


Anexo C



| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|
| PAC-Pórticos | | Empresa: Newton - Consultores de Engenharia Lda | |
|  | REF. CORTE LONGITUDINAL DO TRAMO DA VIGA SEGUNDO O REBAP | | |
| | MAT. | C 20/25 - S400 | ESC. 1:25 |
| | Estagiário: | Raúl Sousa | DATA Julho 2015 |
| | | | 1 |

Anexo D



| | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------------|
| PAC-Pórticos | | Empresa: Newton - Consultores de Engenharia Lda | | |
|  instituto superior de engenharia do porto | REF. CORTE LONGITUDINAL DO TRAMO DA VIGA SEGUNDO O EC2 | | | |
| | MAT. | C 20/25 - S400 | ESC. | 1:25 |
| | Estagiário: | Raúl Sousa | DATA | Julho 2015 |
| | | | 2 | |

Anexo E

```

SUBROUTINE EXCENT (MOBES, PAREA, PINER, PNSD, AMSD, BMSD, H, FCD, COMPR,
#          ETA, PMSD, EXCET, ETAN, EMODEL, FSYD)
C
C *****
COMMON /REG/ JREGUL, ETAEC , FMODEL
C *****
C *** Subrotina que verifica as dispensas de encurvadura , ***
C *** calcula as excentricidades regulamentares e os esforços***
C *** adicionais ***
C *** ETAN= .4 * fcd * Ac / Nsd (<=1.0) (Artº 63.3) ***
C *** EXCE2= 5 / h * .001 * ETAN * 10^2 / 10 (Artº 63.3) ***
C *** EXCEA= 10 / 300 (>= 2cm) (Artº 63.2) ***
C *****

RGIR = SQRT(PINER / PAREA)
COMEN = COMPR * ETA
PLAMB = COMEN / RGIR
EXCET = 0.0
ETAN = 0.0

C MOMENTOS ACTUANTES NAS SECÇÕES CRITICAS (ART. 62)
C
C AMSD - Msd,a (tem de ser o maior dos dois)
C BMSD - Msd,b
C
C IF (ABS (AMSD) .LE. ABS (BMSD)) THEN
C     AUX = AMSD
C     AMSD = BMSD
C     BMSD = AUX
C ENDIF

C IF (JREGUL.EQ.1) THEN
C
C     DISPENSAS DA VERIFICAÇÃO DA ENCURVADURA (ART. 61.4)
C
C IF (MOBES.EQ.1) THEN
C     *** Nós Fixos (Artº 62.2) ***
C     PMSD1 = ABS (.6 * AMSD + .4 * BMSD)
C     PMSD2 = ABS (.4 * AMSD)
C     PMSD = MAX (PMSD1, PMSD2)
C ELSE
C     PMSD=ABS (AMSD)
C ENDIF

C AUX = ABS (PMSD / PNSD)

C IF ((PLAMB.LE.70.0) .AND. (AUX.GE.3.5*H)) THEN
C write(*,*) '*** Dispensou por flexão (Lambda < 70) ***'
C     GOTO 10
C ELSEIF ((PLAMB.GT.70.0) .AND. (AUX.GE.(3.5*H*PLAMB/70.0))) THEN
C     *** Dispensou por flexão (Lambda > 70) ***
C     GOTO 10

```

Anexo F

```

SUBROUTINE ARMIN (ASR, B, BI, XAREA, H, HI, ICAL, INDCAL, RO, SAREA, FNSD,
#          FSYD)
C*****
COMMON /REG/ JREGUL
C*****
C
C ICAL - SE = 0 INDICA QUE E A PRIMEIRA CHAMADA A SUBROTINA
C INDCAL - SE = 1 VAI ITERAR REDUZINDO AS SECCOES DO PILAR

IF (JREGUL.EQ.1) THEN

IF (SAREA.GT.0.AND.ICAL.EQ.0) THEN
ASRL=XAREA*RO
INDCAL=0
ELSE
ICAL=ICAL+1
IF (SAREA.LT.0.0) THEN
COEFR=(1.0-0.025*ICAL)
B=BI*COEFR
H=HI*COEFR
IF (COEFR.GT.0) THEN
INDCAL=1
ELSE
INDCAL=0
ENDIF
C SAI E REPETE OS CALCULOS COM SECCAO HOMOTETICA
RETURN
ELSE
B=B+.025*BI
H=H+.025*HI
ASRL=B*H*RO
ASRLM=XAREA*RO/2
IF (ASRLM.GT.ASRL) ASRL=ASRLM
SAREA=0.0
INDCAL=0
ENDIF
ENDIF
IF (ASRL.GT.ASR) ASR=ASRL

ELSE IF (JREGUL.EQ.2) THEN

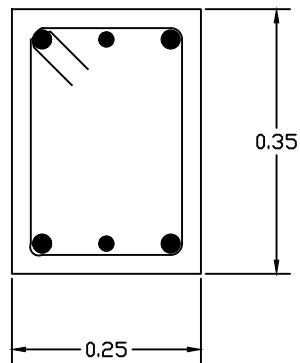
C ASRL EM cm^2

IF (SAREA.GT.0.AND.ICAL.EQ.0) THEN
ASRL=1000*FNSD/FSYD
ASTLL=B*H*20
IF (ASRL.LT.ASTLL) ASRL=ASTLL
INDCAL=0
ELSE
ICAL=ICAL+1
IF (SAREA.LT.0.0) THEN
-----

```

Anexo G

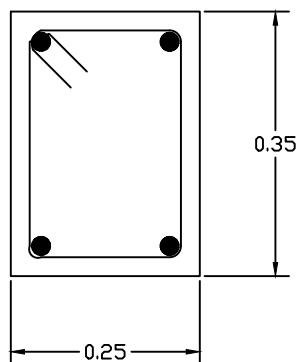
4 ϕ 25+2 ϕ 20



cintas: ϕ 8//.24

CORTE TRANSVERSAL REBAP

4 ϕ 25



cintas: ϕ 8//.25

CORTE TRANSVERSAL EC2

| | | | |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <i>PAC-Pórticos</i> | | Empresa: <i>Newton - Consultores de Engenharia Lda</i> | |
| isep <i>instituto superior de engenharia do porto</i> | REF. | <i>CORTES TRANSVERSAIS DOS PILARES SEGUNDO O REBAP E EC2</i> | |
| | MAT. | <i>C 20/25 - S400</i> | ESC. <i>1:10</i> |
| | Estagiário: | <i>Raúl Sousa</i> | DATA <i>Julho 2015</i> |
| | | | 3 |

Anexo H

1 reference

```
private Solid3d BeamGeometry(Beam beamToDraw, double Supwidth)
{
    Point3d origin = new Point3d(0, 0, 0);

    double supportwidth = Supwidth;

    double[,] dimLoc = beamToDraw.GetSetDimensionLocation;

    Point2d downRightCornerLeftSect = new Point2d(origin.X, origin.Y);
    Point2d downLeftCornerLeftSect = new Point2d(0, dimLoc[0, 0] * 0.01);
    Point2d upleftCornerLeftSect = new Point2d(dimLoc[0, 1] * 0.01, dimLoc[0, 0] * 0.01);
    Point2d upRightCornerLeftSect = new Point2d(dimLoc[0, 1] * 0.01, 0);

    Polyline leftSect = new Polyline(4);

    leftSect.AddVertexAt(0, downRightCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    leftSect.AddVertexAt(1, upRightCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    leftSect.AddVertexAt(2, upleftCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    leftSect.AddVertexAt(3, downLeftCornerLeftSect, 0, 0, 0);

    leftSect.Closed = true;

    leftSect.TransformBy(Matrix3d.Rotation(-Math.PI / 2, Vector3d.YAxis, origin));

    if (beamToDraw.GetSetType == "extrLeft" || beamToDraw.GetSetType == "simplySup")
    {
        leftSect.TransformBy(Matrix3d.Displacement(new Vector3d(-supportwidth/2, 0, 0)));
    }

    Point2d downRightCornerMiddleSect = new Point2d(origin.X, origin.Y);
    Point2d downLeftCornerMiddleSect = new Point2d(0, dimLoc[1, 0] * 0.01);
    Point2d upleftCornerMiddleSect = new Point2d(dimLoc[1, 1] * 0.01, dimLoc[1, 0] * 0.01);
    Point2d upRightCornerMiddleSect = new Point2d(dimLoc[1, 1] * 0.01, 0);

    Polyline MiddleSect = new Polyline(4);

    MiddleSect.AddVertexAt(0, downRightCornerMiddleSect, 0, 0, 0);
    MiddleSect.AddVertexAt(1, upRightCornerMiddleSect, 0, 0, 0);
    MiddleSect.AddVertexAt(2, upleftCornerMiddleSect, 0, 0, 0);
    MiddleSect.AddVertexAt(3, downLeftCornerMiddleSect, 0, 0, 0);

    MiddleSect.Closed = true;
}
```

Anexo I

```

pointOne = new Point2d(colBase/2, 0);
pointTwo = new Point2d(distTwo+colBase/2, 0);
pointThree = new Point2d(pointTwo.X + distThree, 0);
pointSeven = new Point2d(beamToDraw.GetSetLenght - colBase / 2, 0);
pointSix = new Point2d(beamToDraw.GetSetLenght - distSix - colBase / 2, 0);
pointFive = new Point2d(pointSix.X - distFive, 0);

distFour = pointFive.X - pointThree.X;

foreach (VertReinf vertReinf in beamToDraw.GetSetVertReinfList)
{
    double[,] beamGeom = beamToDraw.GetSetDimensionLocation;

    if (vertReinf.GetSetSectName.ToString() == "A vo")
    {
        Solid3d stirrupSolid = DrawOneStirrup(beamGeom[1, 0] *0.01 , beamGeom[1, 1] *0.01, vertReinf.GetSetDiameter, Cover);
        VertReinfSolidList.Add(stirrupSolid);

        int numberOfStirrups = 0;

        numberOfStirrups = Convert.ToInt32(Math.Round(distFour / vertReinf.GetSetSpacing, 0, MidpointRounding.AwayFromZero));

        double zoneLengh = numberOfStirrups * vertReinf.GetSetSpacing;

        double clearance = distFour - zoneLengh;

        if (clearance < 0.15)
        {
            numberOfStirrups = numberOfStirrups - 1;
            zoneLengh = numberOfStirrups * vertReinf.GetSetSpacing;
            clearance = distFour - zoneLengh;
        }

        Point2d inicialPoint = new Point2d(pointThree.X + clearance / 2, 0);

        stirrupSolid.TransformBy(Matrix3d.Displacement(new Vector3d(inicialPoint.X, 0, 0)));

        Vector3d vectorSpacing = new Vector3d(vertReinf.GetSetSpacing, 0, 0);

        for (int i = 1; i <= numberOfStirrups; i++)
        {
            Solid3d newStirrupSolid = (Solid3d)stirrupSolid.Clone();
            newStirrupSolid.TransformBy(Matrix3d.Displacement(vectorSpacing));
            vectorSpacing = new Vector3d(vectorSpacing.X + vertReinf.GetSetSpacing, 0, 0);
            VertReinfSolidList.Add(newStirrupSolid);
        }
    }
}

#region LeftSideBeam

if (vertReinf.GetSetSectName.ToString() == "A1" && distTwo != 0)
{
    Solid3d stirrupSolid = DrawOneStirrup(beamGeom[0, 0] * 0.01, beamGeom[0, 1] * 0.01, vertReinf.GetSetDiameter, Cover);

    VertReinfSolidList.Add(stirrupSolid);

    int numberOfStirrups = 0;

    numberOfStirrups = Convert.ToInt32(Math.Round(distTwo / vertReinf.GetSetSpacing, 0, MidpointRounding.AwayFromZero));
}

```

Anexo J

1 reference

```
private void DrawInfReinf(Beam beam, double[] infReinfDistances, double cover,
    double SupOne, double SupTwo, double beamWidth, double beamHeight, double beamLength, double maxStirrupDiam,
    BlockTableRecord acBlkTableRec, Transaction acTrans, int fck, int fyk, string layer8Diam, string layer10Diam,
    string layer12Diam, string layer16Diam, string layer20Diam, string layer25Diam, string layer32Diam
    , Vector3d moveBeam)
{
    Point2d pointOne = new Point2d(0, 0);
    Point2d pointTwo = new Point2d(0, 0);
    Point2d pointThree = new Point2d(0, 0);
    Point2d pointFour = new Point2d(beam.GetSetLenght / 2, 0);
    Point2d pointFive = new Point2d(0, 0);
    Point2d pointSix = new Point2d(0, 0);
    Point2d pointSeven = new Point2d(beam.GetSetLenght, 0);

    // colocar origem extr. esquerda da viga

    pointOne = new Point2d(0, 0);
    pointTwo = new Point2d(pointOne.X + infReinfDistances[0], pointOne.Y);

    if ( infReinfDistances[1] == 0)
    {
        pointThree = new Point2d(pointTwo.X + infReinfDistances[1], 0);
    }
    else
    {
        pointThree = new Point2d(infReinfDistances[1], 0);
    }

    pointSeven = new Point2d(beam.GetSetLenght, 0);
    pointSix = new Point2d(pointSeven.X - infReinfDistances[3], 0);

    if (infReinfDistances[2] == 0)
    {
        pointFive = new Point2d(pointSix.X, 0);
    }
    else
    {
        pointFive = new Point2d(pointSeven.X - infReinfDistances[2], 0);
    }

    int[,] globalGroupA = new int[5, 2];
    int[,] globalGroupB = new int[5, 2];

    bool firstGroupA = true;

    foreach (InfReinf infReinf in beam.GetSetInfReinfList)
    {
        if (infReinf.GetSetSctName == "A1")
        {
            int numberOfBars = infReinf.GetSetGroupA[0, 0];
            int diameter = infReinf.GetSetGroupA[0, 1];

            globalGroupA[0, 0] = numberOfBars;
            globalGroupA[0, 1] = diameter;

            numberOfBars = infReinf.GetSetGroupB[0, 0];
            diameter = infReinf.GetSetGroupB[0, 1];

            globalGroupB[0, 0] = numberOfBars;
            globalGroupB[0, 1] = diameter;
        }

        if (infReinf.GetSetSctName == "A2")
        {
            int numberOfBars = infReinf.GetSetGroupA[0, 0];
            int diameter = infReinf.GetSetGroupA[0, 1];
        }
    }
}
```

Anexo K

1 reference

```
private Solid3d ColumnGeometry(Column columnToDraw, double beamHeightOne, double beamHeightTwo, double depthSupport)
{
    Point3d origin = new Point3d(0, 0, 0);

    double columnLenght = columnToDraw.GetSetLenght;
    double columnBase = columnToDraw.GetSetBase;
    double columnHeight = columnToDraw.GetSetHeight;

    Point2d downRightCornerLeftSect = new Point2d (origin.X, origin.Y);
    Point2d downLeftCornerLeftSect = new Point2d(0, columnHeight);
    Point2d upleftCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght, columnHeight);
    Point2d upRightCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght, 0);

    if (columnToDraw.GetSetType == "base")
    {
        downRightCornerLeftSect = new Point2d(origin.X - depthSupport, origin.Y);
        downLeftCornerLeftSect = new Point2d(0 - depthSupport, columnHeight);
        upleftCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght + beamHeightTwo / 2, columnHeight);
        upRightCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght + beamHeightTwo / 2, 0);
    }
    else
    {
        downRightCornerLeftSect = new Point2d(origin.X - beamHeightOne / 2, origin.Y);
        downLeftCornerLeftSect = new Point2d(0 - beamHeightOne / 2, columnHeight);
        upleftCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght + beamHeightTwo / 2, columnHeight);
        upRightCornerLeftSect = new Point2d(columnLenght + beamHeightTwo / 2, 0);
    }

    Polyline LeftSect = new Polyline(4);

    LeftSect.AddVertexAt(0, downRightCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    LeftSect.AddVertexAt(1, upRightCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    LeftSect.AddVertexAt(2, upleftCornerLeftSect, 0, 0, 0);
    LeftSect.AddVertexAt(3, downLeftCornerLeftSect, 0, 0, 0);

    LeftSect.Closed = true;

    LeftSect.TransformBy(Matrix3d.Rotation(-Math.PI / 2, Vector3d.YAxis, origin));
}
```