U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE LAJES FUNGIFORMES

Aplicação ao Projeto de Edifícios Correntes

JOSÉ MIGUEL PINTO FRAZÃO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Orientador: Professor Doutor Nelson Saraiva Vila Pouca

JULHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015*.

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

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

À memória da minha Mãe,

Põe quanto És no Mínimo que Fazes
Para ser grande, sê inteiro: nada.
Sê todo em cada coisa.
Põe quanto és no mínimo que fazes,
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive
Ricardo Reis, in Odes

AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação, tornou-se possível devido à contribuição de algumas pessoas, de forma especial:

Ao Professor Nelson Vila Pouca, por toda a disponibilidade, conhecimento, estímulo, dedicação entregues à realização este trabalho, principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao Engenheiro André Monteiro, por toda a disponibilidade em esclarecer dúvidas acerca do programa de cálculo corrente SAP2000, que influenciou o decorrer da dissertação.

À Mónica por todo o apoio ao longo destes anos, fundamental na minha formação.

A todos os colegas, amigos e família, pela forma como me incentivaram e apoiaram durante estes 5 anos.

RESUMO

O projeto de estruturas com os pavimentos constituídos por lajes fungiformes, é geralmente desenvolvido com uma análise através do Método dos Elementos Finitos, que é integrado nas ferramentas de cálculo correntes. Estas ferramentas criam um modelo numérico do problema que representa um comportamento aproximado do real, que tem conta todas a irregularidades presentes ao longo de um dado piso, sendo vantajoso nas situações reais de projecto em comparação com os métodos mais simplificados. No entanto, é necessário adotar metodologias que permitem o dimensionamento das armaduras a partir dos modelos numéricos.

No presente trabalho, pretende-se desenvolver metodologias de análise, que permitem dar resposta às principais dificuldades sentidas em situações de projecto, no que respeita ao dimensionamento das armaduras destas lajes

Neste sentido, numa primeira parte desta dissertação são expostos conceitos teóricos sobre o comportamento destas lajes e alguns dos métodos de análise utilizados para o seu estudo, para obter uma percepção das várias posições que podem ser tomadas na análise das lajes fungiformes. O método que será dado mais destaque é o Método dos Elementos Finitos, com realce nos aspetos de modelação e o seu impacto na envolvente de esforços. Este método é o mais utilizado pelos projetistas para o dimensionamento das lajes fungiformes, devido à sua versatilidade.

Após o estudo dos aspectos anteriormente mencionados, é proposta uma metodologia que , apresentam-se os principais conceitos e problemas inerentes à aplicação do Método dos Elementos Finitos que devem ser tidos em conta na formulação das metodologias.

Para permitir o dimensionamento das armaduras de forma mais sistematizada, irá ser desenvolvida uma aplicação de cálculo auxiliar, que integra as metodologias propostas e possa ser aplicada em situações concretas em projecto.

Por fim, recorrendo à ferramenta de cálculo auxiliar desenvolvida, é aplicada a metodologia de análise num caso de estudo, para identificar quais as potencialidades e fraquezas da metodologia de análise desenvolvida.

PALAVRAS-CHAVE: Lajes fungiformes, Método dos Elementos Finitos, Metodologias de análise, Programação VisualBasic, Aplicação ao Projeto, Análise Elástica com Redistribuição.

ABSTRACT

The structures design of flat slabs is usually developed through the Finite Element Method, which is integrated within current calculation tools. These tools create a structure numerical model that gives an approximate real behavior, regarding all the irregularities, that is advantageous in real project situations comparing with more simplified methods. However, it is necessary to adopt methodologies that allow reinforced design from numerical models.

In this work, it is intend to develop methodologies analysis which allow to solve major difficulties in design situations, regarding the reinforcement design for these slabs.

So, the first part of this dissertation exposes theoretical concepts about these slabs behavior and some of the analysis methods used for their study, to gain knowlegde of the multiple positions that can be taken in this analysis. The method with more prominence is the Finite Element Method, with emphasis on modeling aspects and their impact on surrounding forces. This method is most used by designers on flat slabs design due to its versatility.

After studying the mentioned above aspects, it is propose a methodology that presents the key concepts and issues related to the finite element method application, that should be taken in account for the methodologies formulation.

To allow renforcement design in a more systematic way, an auxiliary calculation application will be developed, incorporating the proposed methodologies and so that can be applied in project real situations.

Finally, using the developed auxiliary calculation tool, it is applied the methodology analysis regarding a case study to identify the strengths and weaknesses of this methodology analysis that was developed.

PALAVRAS-CHAVE: Flat Slabs, Flat Plates, Finite Element Method, Methodologies Analysis , Visual Basic Programming, Project Application

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTO iii

RESUMO iv

ABSTRACT vii

1.INTRODUÇÃO 1

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS 1

1.2. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO 2

1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO 3

2. LAJES FUNGIFORMES 5

2.1. INTRODUÇÃO 5

2.2. ANÁLISE ELÁSTICA 8

2.2.1. PÓRTICOS EQUIVALENTES 8

2.2.2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITO 9

2.3. ANÁLISE PLÁSTICA 12

2.3.1. MÉTODO DAS LINHAS DE ROTURA 12

2.3.2. MÉTODO DAS BANDAS PLÁSTICAS 14

2.4. REGULAMENTAÇÃO 16

2.4.1. EUROCÓDIGO 2 16

2.4.2. ACI 18

3. ANÁLISE DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS 19

3.1. INTRODUÇÃO 19

3.2. TIPO DE ELEMENTO FINITO SAP2000 20

3.3. REFINAMENTO DA MALHA 21

3.4. DIMENSÃO DO PILAR 23

3.5. EFEITO DA FENDILHAÇÃO NAS LAJES FUNJIFORMES 26

3.5.1. FENDILHAÇÃO 26

3.5.2. QUANTIFICAÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE RIGIDEZ 27

3.5.3. MODELO DO ENSAIO EXPERIMENTAL 28

3.5.4. APLICAÇÃO NO CASO DE ESTUDO 31

4. METODOLOGIAS DE ANÁLISE 37

4.1. INTRODUÇÃO 37

4.2. ESTRATÉGIAS 37

4.3. METODOLOGIAS 39

4.3. REDISTRIBUIÇÃO 41

4.4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS MODELO DE ESTUDO 43

4.5. ARMADURAS 46

5. APLICAÇÃO DE CÁLCULO 49

5.1. INTRODUÇÃO 49

5.2. DESCRIÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO DO SAP2000 49

5.3. DESCRIÇÃO DA INFORMAÇÃO A EXPORTAR DO SAP2000 50

5.4. DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO DE CÁLCULO 50

5.5. PROCEDIMENTO DA APLICAÇÃO DE CÁLCULO 51

6. CASO DE ESTUDO 55

6.1. INTRODUÇÃO 55

6.2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO 55

6.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E MATERIAIS 56

6.2.2. AÇÕES VERTICAIS 56

6.2.3. MODELO SAP2000 56

6.2.4. APLICABILIDADE DA METODOLOGIA NO CASO DE PAREDES RÍGIDAS 58

6.2.5. VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELA METODOLOGIA 60

6.2.6. DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS A PARTIR DA METODOLOGIA 62

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 67

7.1. CONCLUSÕES 67

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 68

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

ANEXOS 73

ANEXO A 74

ANEXO B 80

ANEXO C 84

ANEXO D 86

ANEXO D.1 PARTE I DIREÇAO X 87

ANEXO D.2 PARTE II DIREÇAO Y 110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fendilhação Face Superior (Adaptado[1]) 5
Figura 2.2 - Fenda de Corte (Adaptado[1]) 5
Figura 2.3 - Punçoamento (Adaptado[1]) 5
Figura 2.4 - Transmissão de Esforços (Adaptado[1]) 6
Figura 2.5- Momento Total entre dois pilares, Distribuição dos Momentos ao longo da faixa e Momentos Médios por faixa (Adaptado[1]) 6
Figura 2.6 - Laje apoiada em toda a sua largura (Adaptado[1]) 7
Figura 2.7 - Laje apoiada num pilar (Adaptado[1]) 7
Figura 2.8 - Deformação da laje (Adaptado[1]) 7
Figura 2.9 - Mecanismo de Rotura Pilar de Bordo (Adaptado[1]) 7
Figura 2.10 - Divisão das faixas (Adaptado[19]) 8
Figura 2.11- Modelação Laje Elementos Casca e Pilar Elementos Sólidos (Adaptado[7]) 9
Figura 2.12- Modelação Laje Elementos Casca e Pilar Elementos de Barra (Adaptado[7]) 9
Figura 2.13 - Modelo Simplificado (Adaptado[5]) 10
Figura 2.14 - Modelo com recurso aos Elementos Sólidos (Adaptado[5]) 10
Figura 2.15 - MEF Aberturas Momentos M11 10
Figura 2.16 - MEF Paredes Momentos M11 11
Figura 2.17 - MEF Núcleo Rígido Momentos M11 11
Figura 2.18 - Mecanismos de Rotura (Adaptado[15]) 13
Figura 2.19 - Distribuição de Cargas (Adaptado[10]) 14
Figura 2.20 - Distribuição dos Momentos nas duas direções (Adaptado[8]) 15
Figura 2.21 - Distribuição dos Momentos na direção x (Adaptado[8]) 15
Figura 2.22 - Esquema da Aplicação do Método das Bandas em Aberturas (Adaptado[10]) 15
Figura 2.23 - Distribuição das Armaduras nos Pilares Interiores (Adaptado[22]) 17
Figura 2.24 - Esquemas para o cálculo da largura efetiva (Adaptado[22]) 17
Figura 2.25 - Distribuição das Armaduras no caso de Pilar de Bordo (Adaptado[22]) 17
Figura 2.26 - Disposições Construtivas ACI (Adaptado[17]) 18
Figura 3.1 - Geometria do Modelo de Estudo 19
Figura 3.2 - Modelação SAP2000 19
Figura 3.3 - Elemento Finito Inicial(Adaptado[16]) 20
Figura 3.4 - Elemento Finito Final (Adaptado[16]) 20
Figura 3.5 - Elemento de Casca Quadrilátero de Quatro Nós (Adaptado[12]) 21

Figura 3.6 - Referenciais 21

Figura 3.7 - Momentos Fletores e Torsores do Elemento (Adaptado[12]) 21

Figura 3.8 - Momentos M11 Malha 0,5m 22

Figura 3.9 - Momentos M11 Malha 0,1m 22

Figura 3.10 - Diagrama de Momentos M11 22

Figura 3.11- Geometria do Modelo Utilizado (Adaptado[8]) 23

Figura 3.12- Diagramas Mx; Dimensão do pilar 0,1x0,1; 0,2x0,2; 0,4x0,4, para cada modelo (Adaptado[8]) 24

Figura 3.13 - Referencial e localização de pontos específicos (Adaptado[5]) 25

Figura 3.14 - Lajes Fungiformes Maciças, Fendilhação em Pilares de Bordo (Adaptado[http://admet.com/blogposts/astm-c1609-flexural-testing-of-fiber-reinforced-concrete-beams/]) 26

Figura 3.15 - Formação de Fendas de Flexão (Adaptado[2]) 26

Figura 3.16 - Relação entre Momentos Fletores, Rigidez à flexão e Curvaturas (Adaptado[2]) 28

Figura 3.17 - Geometria Modelo de Ensaio (Adaptado[8]) 28

Figura 3.18 - Carga Concentrada Aplicada no Centro do painel 28

Figura 3.19 - Painel Apoiado num pilar central 28

Figura 3.20 - Momentos M11 Antes da fendilhação 30

Figura 3.21 - Momentos M11 Após da fendilhação 30

Figura 3.22 - Comparação entre os valores dos Momentos M11 (Dir X) ao longo da direção yy, dos Momentos M22 (Dir y) ao longo da direção xx e momentos elásticos obtidos pelo SAP2000 e os valores obtidos pelo Abaqus e FEM-Desing 30

Figura 3.23 - Representação da geometria do Modelo 32

Figura 3.24 - Momentos M11 na faixa dos pilares e nas faixas centrais ao longo do alinhamento y=6 32

Figura 3.25 - Momentos M11 Elástico, Seleção dos Elementos a afetar e Momentos M11 Fendilhação 33

Figura 3.26 - Momentos M11 Antes e Após Fendilhação, para a faixa dos pilares e faixas centrais do pórtico y=6 33

Figura 3.27 - Momentos Negativos M11 no pórtico y=6 sobre os pilares a) P1, b) P2, c) P3 35

Figura 3.28 - Momentos Positivos M11 do pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3 36

Figura 3.29 - Momentos Negativos M11 do pórtico x=6 sobre o pilar P2 36

Figura 4.1 - Pontos de leitura de momentos fletores na face do pilar para M22 (Adaptado[5]) 38

Figura 4.2 - Representação das várias faixas a considerar ao longo do pórtico equivalente, Momentos M22 (Adaptado[5]) 38

Figura 4.3 - Representação do Momento Global Negativo na faixa de um pórtico 39

Figura 4.4 - Representação do Momento Global Positivo na faixa de um pórtico 39

Figura 4.5 - Representação da distribuição dos Momentos Negativos....40
Figura 4.6 - Representação da distribuição negativos na zona dos pilares de canto ou bordo....40
Figura 4.7 - Representação da distribuição dos Momentos Positivos....41
Figura 4.8 - Representação da Redistribuição do Momento Global....41
Figura 4.9 - Representação da Redistribuição apenas na Faixa dos Pilares....41
Figura 4.10 - Momentos Globais M11 para as faixas centrais no pórtico y=6....43
Figura 4.11 - Momentos M11 para a faixa dos pilares no pórtico y=6....44
Figura 4.12 - Distribuição dos Momentos Negativos M11 no pórtico y=6 sobre os pilares a)P2, b)P3 45
Figura 4.13 - Distribuição dos Momentos Positivos M11 do pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3 45
Figura 4.14 - Quantidade de As para as faixa centrais no pórtico y=6....46
Figura 4.15 - Quantidade de As para a faixas dos pilares no pórtico y=6....47
Figura 4.16 - Quantidade de As Superior no pórtico y=6 sobre os pilares a)P2, b)P3....47
Figura 4.17 - Quantidade de As Inferior no pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3....48
Figura 5.1 - Representação dos momentos M11[kN.m/m], a) antes Medianização b) após Medianização....50
Figura 5.2 - Enquadramento do Quadro 5.1 na folha de cálculo “Program Control”....52
Figura 5.3 - Convenção da Orientação das larguras na direção YY....52
Figura 5.4 - Convenção da Orientação das larguras na direção XX....52
Figura 6.1 - Bloco do centro hospitalar a estudar....55
Figura 6.2 - Geometria do Piso....55
Figura 6.3 - Momentos Fletores M11[kN.m/m]....57
Figura 6.4 - Momentos Fletores M22[kN.m/m]....57
Figura 6.5 - Diagrama dos Momentos Globais M11 no pórtico y=28,8....58
Figura 6.6 - Momentos Negativos do pórtico y=28,8 sobre a parede em x=7,2....59
Figura 6.7 - Momentos Negativos do pórtico y=28,8 sobre o pilar em x=15,1m....59
Figura 6.8 - Momentos Positivos do pórtico y=28,8 sobre a coordenada x=18,45....59
Figura 6.9 - Momentos Positivos do pórtico y=28,8, sobre a coordenada x=10,36....59
Figura 6.10 - Pontos escolhidos para comparação entre valores obtidos através da aplicação auxiliar e das “SectionCuts” com o SAP2000....60
Figura 6.11 - Esquema dos pilares P33, P34 e P43 da figura 6.10, onde será feito o dimensionamento das armaduras....62
Figura 6.12 - Esquema dos desenhos das Armaduras Superiores e inferiores....64

Figura D.1 - Armaduras Superiores e Inferiores à Escala 1:100.....85

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Distribuição Simplificado dos Momentos pelas Faixas....6

Quadro 3.1 - Materiais, dimensões e ações....19

Quadro 3.2 - Momentos fletores obtidos, para cada dimensão do pilar, em cada caso respetivamente (Adaptado[5])....25

Quadro 3.3 - Momentos fletores obtidos, para cada dimensão do pilares, em cada caso respetivamente....29

Quadro 3.4 - Momentos fletores obtidos para os nós mais afetados pela fendilhação e a respetiva redução de Momento....41

Quadro 4.1 - Variação de ΔM para as faixa centrais ao longo do pórtico y=6 e a percentagem de redução respetiva....43

Quadro 4.2 - Variação de ΔM para a faixa dos pilares ao longo do pórtico y=6 e a percentagem de redução respetiva....44

Quadro 5.1 - Composição e Forma do Quadro a preencher....52

Quadro 6.1 - Geometria dos pilares e paredes....56

Quadro 6.2 - Ações Verticais Consideradas e respetivo Valor de cálculo ped....56

Quadro 6.3 - Momentos M11 obtidos com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar....60

Quadro 6.4 - Momentos M22 obtidos com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar....60

Quadro 6.5 - Taxas de Armaduras na direção XX obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar....61

Quadro 6.6 - Taxas de Armaduras na direção YY obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar....61

Quadro 6.7 - Taxas de Armaduras na direção XX e direção YY obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar....62

Quadro 6.8 - Momentos M11 e quantidade de armadura Asx para cada nó da malha, obtidos a partir da aplicação auxiliar....63

Quadro 6.9 - Momentos M22 e quantidade de armadura Asy para cada nó da malha, obtidos a partir da aplicação auxiliar....64

Quadro A.1 - Disposições construtivas do ensaio....75

Quadro A.2 - Parâmetros resistentes dos materiais utilizados no ensaio....75

Quadro A.3 - Dimensionamento das armaduras....75

Quadro A.4 - Cálculo da rigidez antes e após fendilhação....76

Quadro A.5 - Cálculo do fator de redução de rigidez na faixa central....77

Quadro A.6 - Cálculo do fator de redução de rigidez nas restantes faixas....78

Quadro A.7 - Valores do Momentos M11 da figura 3.22....79

Quadro B.1 - Disposições construtivas Modelo de Estudo.....81
Quadro B.2 - Parâmetros resistentes dos materiais no Modelo de Estudo.....81
Quadro B.3 - Cálculo do fator de redução de rigidez nas restantes faixas.....81
Quadro B.4 - Disposições construtivas Modelo de Estudo.....82
Quadro B.5 - Cálculo da rigidez antes e após fendilhação no Modelo de Estudo.....82
Quadro B.6 - Cálculo dos fator de redução de rigidez.....83

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

E - módulo de elasticidade [GPa]

I - momento de inércia da secção de betão [m^4]

P_{ELS} - carga concentrada para Estado Limite de Utilização [kN]

P_{ELU} - carga concentrada para Estado Limite Último [kN]

p_{ed} - valor de cálculo da carga distribuida atuante

N - carga vertical atuante

M - momento flector atuante [kN.m]

M11 - momento flector unitário e torno do eixo 2 ou eixo yy [kN.m/m]

M22 - momento flector unitário e torno do eixo 1 ou eixo xx [kN.m/m]

M_g - momento global [kN.m]

M_{cr} - momento de fendilhação

A_s - área da seção de uma armadura para betão armado

$A_{s,min}$ - área da seção de uma armadura para betão armado

A_c - área da seção transversal de betão

$1/r$ - curvatura numa determinada seção

$1/r_1$ - curvatura numa determinada seção no estado I

$1/r_2$ - curvatura numa determinada seção no estado II0

$1/r_m$ - curvatura média numa determinada seção

a_i - largura da faixa i

f_{ctm} - valor médio da tensão de rotura do betão à tração

f_{ck} - valor característico da tensão de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade

f_{cd} - valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão

f_{yk} - valor característico da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado

f_{yd} - valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado

d - altura útil de uma seção transversal

be - largura efetiva

lr - comprimento da linha de rotura ou o seu comprimento projetado sobre o eixo de rotação

θ - rotação da região em torno do eixo de rotação da região

δ - deslocamento vertical das cargas N em cada região da laje

Δ - variação da grandeza associada

β - coeficiente que tem em conta a influência na extensão média da duração do carregamento ou da repetição do carregamento

ζ - coeficiente de distribuição/coeficiente de redução

σ_{sr} - tensão na armadura de tração calculada com base na seção fendilhadas nas condições de carregamento que provocam o inicio da ψ_2

σ_s - tensão na armadura de tração calculada com base na seção fendilhada

ψ_2 - coeficiente para os valores quase-permanentes

ρ - taxa de armaduras longitudinais

γ - coeficiente parcial

EC2 - Eurocódigo 2

FC - faixa central

FP - faixa dos pilares

ELS - estado limite de utilização

1
INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

As estruturas com pavimento constituído por lajes fungiformes são uma escolha à qual se recorre cada vez mais frequentemente na atualidade devido à sua flexibilidade e fácil adaptação do espaço, consoante o uso. Para além desta versatilidade, o emprego deste tipo de lajes nos edifícios correntes permite uma construção mais rápida e controlada, o que faz desta solução uma dos mais competitivas, relativamente a outro tipo de estruturas, pela economia de recursos e tempo.

No entanto, em termos de projeto, ao contrário do que acontece nos outros tipos de estruturas, nesta solução estrutural há um acréscimo de subjetividade no dimensionamento das armaduras a dispor nas lajes. Esta subjetividade está diretamente relacionada com o projetista e com as suas decisões que dependem da sua experiência de trabalho com o sistema estrutural em questão.

Além disso, existe uma grande variedade de métodos de análise ao dispor do projetista, permitidos na regulamentação em vigor, como o EC2. Apesar desta diversidade, o Método dos Elementos Finitos é o método mais utilizado e versátil visto que este está integrado nas ferramentas de cálculo correntes e é facilmente acessível ao projetista.

Apesar destas ferramentas de cálculo serem de fácil manuseamento e de se poder integrar qualquer tipo de irregularidade no modelo numérico da laje, os resultados obtidos não devem ser diretamente aplicados no dimensionamento. Isto porque, em projeto, na modelação da estrutura, os pilares são em geral representados por elementos de barra e as lajes como elementos de casca, assim a transmissão de esforços entre a laje e os pilares dá-se num ponto exagerando os esforços neste nó, o que não corresponde ao comportamento real. No caso da presença de aberturas na laje, pilares desalinhados, paredes ou núcleos rígidos, estas complicam o processo de análise e dimensionamento das armaduras a dispor nestas zonas.

De modo a solucionar de forma sistematizada as já enumeradas dificuldades sentidas no dimensionamento das lajes fungiformes para situações específicas no projeto pretende-se, com este trabalho, desenvolver metodologias de análise recorrendo a meios de cálculo correntes. Para tornar este processo mais direto é desenvolvida uma ferramenta de cálculo auxiliar que aplica a metodologia definida para possibilitar o dimensionamento da maioria das armaduras de flexão a dispor na laje.

Este desafio permite consolidar conhecimentos já adquiridos durante a formação académica acerca de dimensionamento de estruturas de betão armado e a aplicabilidade do método dos elementos finitos. Torna-se ainda mais interessante visto que pela primeira vez surge a oportunidade de lidar com problemas reais de projeto. Ao desenvolver a ferramenta de cálculo auxiliar adaptada às dificuldade em questão, é necessário explorar, adquirir bases e dominar a linguagem de programação que se pretende conciliar com as condições de projeto. Por reforçar conhecimentos adquiridos adaptando-os aos problemas reais de projeto e obrigar à exploração na área de programação, este trabalho apresenta-

se como um complemento vantajoso à formação adquirida ao longo destes anos, sendo uma mais valia por serem obtidas algumas competências necessárias como futuro projetista.

1.2. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação que de seguida se apresentará é divida em 7 capítulos, com o capítulo introdutório incluído.

No segundo capítulo deste trabalho, pretende-se sistematizar e explorar o comportamento das lajes fungiformes em condições de serviço e em estado limite último de rotura, assim como a forma como os esforços se desenvolvem ao longo da laje atingindo o equilíbrio. Dado o sistema estrutural em causa, é referido também o efeito de ligação entre o pilar e a laje de acordo com a sua posição em planta. Após a apresentação destes conceitos são expostos dois métodos de análise elástica, sendo estes os mais utilizados, e dois métodos de análise plástica para ter uma noção de como se formam os mecanismos de rotura nestas lajes. Ainda no âmbito deste capítulo, são referenciadas duas regulamentações, EC2 e ACI, acerca dos métodos que são permitidos e a regras e especificações fornecidos para cada um deles e as disposições construtivas das armaduras de flexão.

No terceiro capítulo procura-se aprofundar o conhecimento acerca do Método dos Elementos Finitos, por este ser o método de análise a que se recorre mais frequente para a análise das lajes fungiformes. Assim, são salientados vários aspetos importantes na modelação, como o tipo de elemento finito usado pelo SAP2000, a importância do refinamento das malhas e a dimensão do pilar. É realizada uma análise acerca do efeito da fendilhação, sendo este fenómeno importante na decisão dos valores de dimensionamento a utilizar. Para melhor compreender este efeito, a partir de um estudo feito numa dissertação acerca de um ensaio experimental é feito um estudo complementar sobre o mesmo. Finalmente é feita uma análise sobre a fendilhação aplicada no modelo de estudo, para perceber a forma como os esforços da estrutura se redistribuem pelas lajes.

O quarto capítulo, começa com uma discussão sobre metodologias existentes em algumas referências bibliográficas, seguindo-se da descrição das primeiras estratégias para alterar a envolvente de esforços dada pelo SAP2000 que conduziram à definição dos aspetos mais importantes da garantir. Após isto, é proposta uma metodologia que permite o dimensionamento da maioria das armaduras de flexão, que integra a análise elástica com redistribuição e consequentemente é feita uma discussão acerca de duas estratégias de redistribuição e a diferença entre quantidades de armaduras que daí resultam.

No quinto, são exposto alguns detalhes acerca de procedimentos implementados no programa que influenciam os resultados finais. É feita a descrição de como deve ser feita a modelação no SAP2000, as alterações no modelo necessárias para a aplicação de cálculo e as tabelas a exportar para formato excel. Posteriormente é exposto passo a passo, o procedimento que deverá ser feito para fazer a interligação entre ao modelo numérico do SAP2000 em excel e a ferramenta de calculo auxiliar em VBA.

No sexto capítulo, são utilizados todos os conhecimentos sobre o MEF e de modelação com recurso ao SAP2000 num caso prático, sendo posteriormente aplicada a ferramenta de cálculo auxiliar que integra a metodologia proposta na presente dissertação, para o dimensionamento das armaduras de flexão. Este capítulo têm o propósito de expor as potencialidades da metodologia e do programa desenvolvido na prática de projeto.

Finalmente, no sétimo capítulo, são apresentadas as principais conclusões observadas ao longo de todo o processo, assim como os aspetos que possam vir a ser desenvolvidos em trabalhos futuros.

.

1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia utilizada no desenvolvimento desta dissertação teve por base, numa fase inicial, à pesquisa e leitura da bibliografia relacionada com o comportamentos das lajes fungiformes, métodos de análise e regulamentação existentes. Ao mesmo tempo, também se efetuou uma pesquisa e estudo de referências bibliográficas acerca de estratégias para definição de metodologias de análise.

Numa segunda fase, procurou-se explorar um programa de cálculo corrente, o SAP2000, o mais indicado para o cálculo das lajes fungiformes. Também foi necessário um estudo aprofundado dos variados efeitos que surgem nas diferentes estratégias de modelação.

Inicialmente, para conseguir definir uma metodologia de análise foi necessário o desenvolvimento da ferramenta de cálculo, que procurava ajustar os resultados obtidos do SAP2000 para o estudo da forma como se desenvolvem os esforços de flexão na laje. Uma das primeiras dificuldades surgiu na interpretação da forma como os resultados são apresentados pelo SAP2000, pelo se entendeu ser necessário começar a desenvolver uma aplicação de cálculo. Começou-se, então, por estudar a linguagem Visual Basic para implementar um algoritmo que modifica a forma como os resultados são apresentados pelo SAP2000. Após esta fase, iniciou-se o desenvolvimento das possíveis metodologias a serem aplicadas. Depois de alguma reflexão, exposta no capítulo 4, chegou-se a uma metodologia de análise indicada para tratar estes problemas de projeto.

Outra dificuldade surgiu na integração da metodologia na aplicação de cálculo, dado que em projeto, a dimensão do elemento finito da malha é feita à custa da divisão por partes dos painéis. Isto implica a introdução de um algoritmo que tem em conta o erro acumulado visto que a dimensão do elemento não é um número inteiro. Surgiu também um problema na integração dos dois métodos de redistribuição propostos. Continuou-se a desenvolver a ferramenta de cálculo auxiliar para integrar a metodologia de análise, que posteriormente foi aplicada num caso de estudo para exemplificar as potencialidades do programa num caso real.

.

2
LAJES FUNGIFORMES

2.1. Introdução

No projecto de edifícios, por vezes é necessário optar por soluções em que é possível a redução da altura total dos edifícios, a criação de espaços amplos de fácil adaptação a diferentes usos ou a diminuição do tempo de execução da obra, para tal, recorre-se às Lajes fungiformes. Esta designação é dada às lajes maciças ou aligeiradas contínuas nas duas direcções, que apoiam directamente em pilares, para os quais são transportadas todas as acções, sem necessidade de vigas.

Este sistema estrutural, introduz dois efeitos de grande relevância para o dimensionamento das armaduras a colocar, a concentração de esforços de flexão elevada e o punçoamento, ambos localizados na zona dos pilares. Devido aos esforços de flexão, é na vizinhança dos pilares onde ocorre fendilhação mais severa, dificultando a escolha dos valores de dimensionamento e o estudo da resistência ao punçoamento. Esta resistência, é limitada pela concentração dos esforços de corte na ligação entre o pilar e a laje, o que obriga muitas vezes à colocação de armaduras que resistam ao punçoamento e/ou ao aumento da espessura da laje. As duas soluções mais usadas, face ao punçoamento são o espessamento da laje junto ao pilar e/ou o uso de capiteis. Estes dois fenómenos e a sua interação estão explícitos nas três figuras que se seguem:

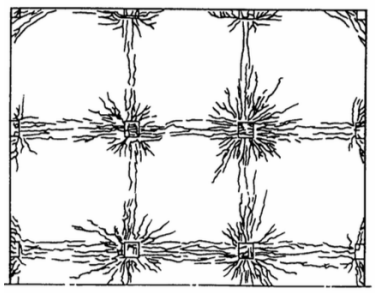


Figura 2.1 - Fendilhação Face Superior (Adaptado[1])

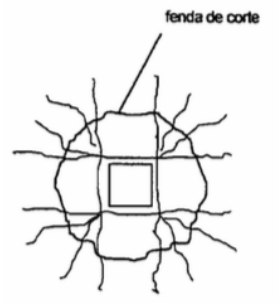


Figura 2.2 - Fenda de Corte (Adaptado[1])

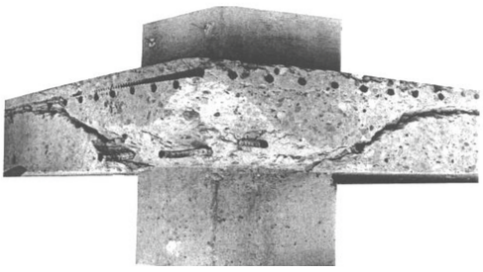


Figura 2.3 - Punçoamento (Adaptado[1])

Nas lajes contínuas armadas nas duas direcções apoiada em vigas, quando é aplicada uma carga vertical distribuída, para haver equilíbrio estático a parte da carga transportada por uma dada viga, mais a parcela que é diretamente transportada pela laje nessa direcção têm de ser 100% da carga aplicada no painel, em cada direcção. Este sistema estrutural assemelha-se ao das lajes fungiformes , em que são as faixas de laje centradas nos pilares que cumprem o desempenho das vigas. Assim em cada direção pode ser considerada uma viga com a largura da direcção ortogonal que recebe a carga total. Deste modo o momento isostático de qualquer faixa de laje continua é "a soma do momento positivo a meio vão com a média dos momentos negativo nos apoios"[1].

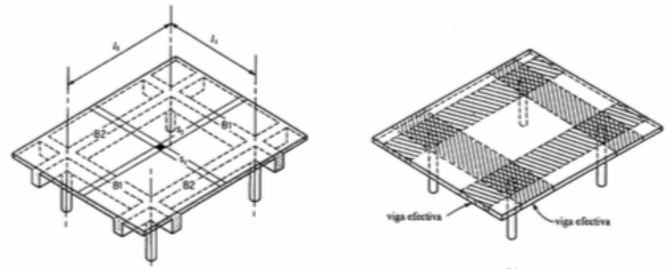


Figura 2.4 - Transmissão de Esforços (Adaptado[1])

No entanto, a rigidez em cada faixa de laje depende da sua posição em relação a um dado alinhamento de pilares próximo, sendo superior no caso das faixas centradas nos pilares. Estas faixas designam-se de Faixa sobre os Pilares, em que os momentos são mais elevados. Na direcção perpendicular destas faixas apoiam as Faixas Centrais que não são centradas nos pilares, sendo mais flexíveis e portanto transferem menor carga. Desta forma, as lajes fungiformes podem ser analisadas como pórticos em cada direção perpendicular segundo os alinhamentos dos pilares, pelo que apresentam rigidez à flexão e uma deformada plana continua apoiada pontualmente numa malha de pilares. Ao assumir o comportamento da laje fungiforme idêntico ao de uma estrutura porticada, a rigidez da ligação pilar/ laje é superior à rigidez real da inserção da laje com o pilar, dado que a transferência de momentos flectores dá-se numa região localizada. Este efeito depende da posição do pilar em planta, isto é se é pilar de canto, de bordo ou interior.

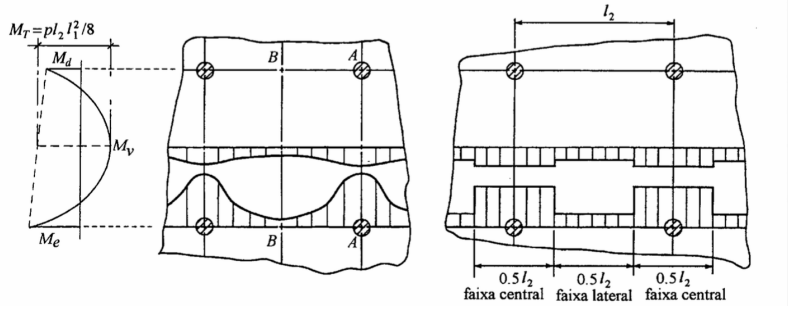


Figura 2.5 - Momento Total entre dois pilares, distribuição dos momentos ao longo da faixa e momentos médios por faixa (Adaptado[1])

.

No caso dos Pilares Interiores, a transmissão dos esforços de flexão entre a laje e o pilar é feita através de uma largura reduzida (be), que têm em consideração a reduzida rigidez à torção nas faixas que não contêm a seção do pilar e a sua diminuição em função do afastamento da faixa do pilar, que se traduz numa menor influência da rotação da ligação nas faixas mais afastadas. Esta largura deve ser tida em conta quando são aplicadas acções horizontais às lajes ou no estudo das acções verticais, no caso de vãos adjacentes com comprimentos muito diferentes, que introduz um momento negativo não equilibrado a transmitir ao pilar.

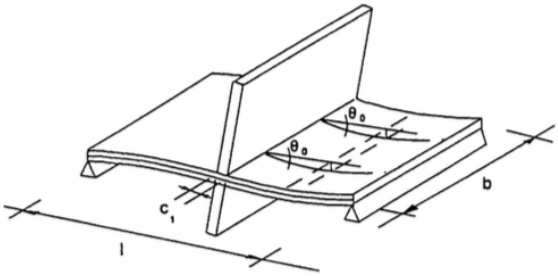


Figura 2.6 - Laje apoiada em toda a sua largura (Adaptado[1])

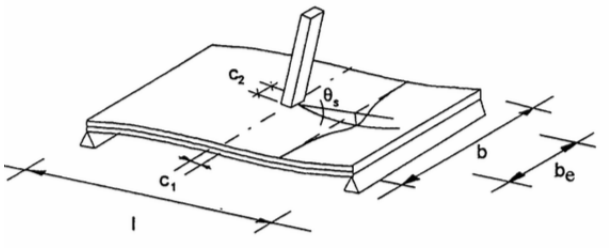


Figura 2.7 - Laje apoiada num pilar (Adaptado[1])

Para os pilares de bordo e de canto, há uma redução da capacidade de transmissão de momentos flectores, devido ao surgimento de fendas de flexão e de torção junto à face do pilar, pelo que a continuidade é garantida exclusivamente pela zona de inserção do pilar na laje, tanto para acções verticais como horizontais. Devido a esta redução de capacidade, surgem linhas de rotura que podem formar um mecanismo de colapso, então a transferência de momentos flectores deve ser limitada por uma largura efectiva que têm em conta a posição do pilar em planta e a sua seção. Assim o momento resistente máximo, nestes pilares deve ser igual à capacidade resistente da laje em função da largura efectiva, na qual deve ser disposta toda a armadura a resistir ao momento atuante.

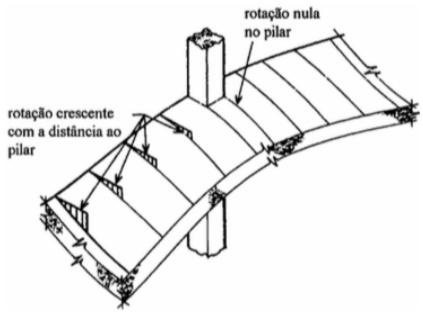


Figura 2.8 - Deformação da laje (Adaptado[1])

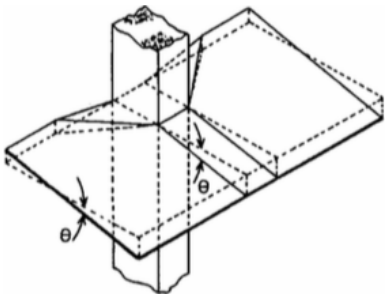


Figura 2.9 - Mecanismo de Rotura Pilar de Bordo (Adaptado[1])

Como já foi anteriormente referido, no dimensionamento das armaduras das lajes é necessário ter em conta o efeito da fendilhação, que para cargas muito baixas começam a surgir fendas na face superior da laje, na vizinhança do pilar , que provocam uma redistribuição dos momentos de pico nos pilares. À medida que as cargas instaladas no piso aumentam até atingir o valor das cargas de serviço começam a aparecer fendas na face inferior nos alinhamentos dos pilares e na zona central dos painéis. Quando as cargas aproximam-se da carga de rotura, a armadura começa a plastificar e a fendilhação

pode desenvolver-se segundo linhas de rotura negativas entre pilares, ou concentrar-se numa região à volta do pilar provocando rotura por punçoamento.

A partir destas noções foram desenvolvidos vários métodos para obter uma envolvente de esforços de dimensionamento e as respectivas armaduras a colocar, que se apoiam em modelos empíricos, análises elásticas ou plásticas deste problema. No âmbito desta dissertação apenas serão referenciados quatro métodos de análise, dois deles baseados em análise elástica que são os mais usados pelos projetistas e outros dois baseados em análises plástica apenas para ter uma noção do comportamento das lajes em estado último de rotura.

2.2. ANÁLISE ELÁSTICA

2.2.1. PÓRTICOS EQUIVALENTES

Quando a malha de pilares é regular e a laje é carregada predominantemente com cargas verticais distribuídas, para a determinação dos esforços a estrutura é dividida em 2 conjuntos de pórticos independentes segundo cada direção ortogonal. Para obter a envolvente dos esforços na modelação dos pórticos, é feita com recurso a elementos de barra, a seção das vigas será igual à da faixa a tracejado da figura e a rigidez a considerar é a correspondente dessa faixa de laje.

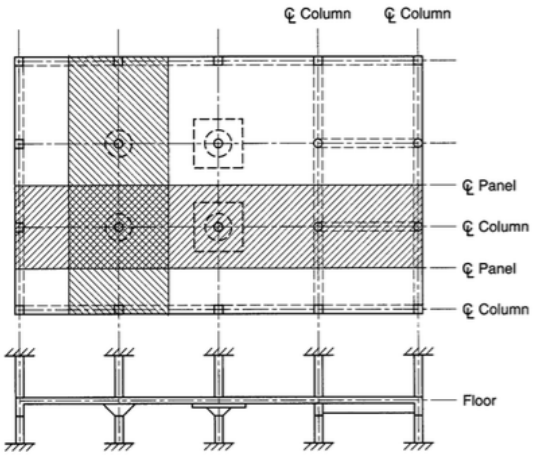


Figura 2.10 - Divisão das faixas (Adaptado[19])

Após a análise elástica dos pórticos, a largura da faixa considerada no calculo dos pórticos, deve ser decomposta em faixa dos pilares e faixa central. Para determinar o momento flector em cada faixa, deve ser considerada uma percentagem do momento flector total para cada faixa respectivamente, em que para a faixa dos pilares a percentagem deverá ser mais elevada do que para as faixas centrais, pelo o que foi anteriormente foi exposto, é no alinhamento dos pilares que se encontram a maior concentração de esforços. Para ultrapassar a dificuldade de escolha das percentagens, os regulamentos indicam intervalos de valor para o projetista determinar o seus valores de dimensionamento.

Este método é de fácil aplicação quando a malha de pilares é regular e a laje está predominantemente sujeita a cargas verticais distribuídas. Na prática em geral as lajes têm irregulares, tanto quanto ao alinhamento de pilares, como a presença de núcleos ou paredes rígidas, à existência de buracos no pavimento, o que torna a aplicação deste método pouco directa para edifícios correntes.

2.2.2. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O método dos Elementos Finitos (MEF), é um método integrado em ferramentas de cálculo correntes de análise estrutural, utilizado para o estudo e dimensionamento de lajes, paredes, pórticos ou estruturas mais complexas. Actualmente, devido à evolução dos sistemas computacionais e softwares comerciais disponíveis, é possível aplicar esta técnica na análise das estruturas de forma global ou parcial, no caso de existirem partes da estrutura com um comportamento menos claro e incorporar , por exemplo, deformações por corte e a não linearidade material.

A modelação, com recurso aos elementos finitos, consiste na simulação numérica do comportamento real de uma estrutura, deste modo o método é uma técnica aproximada na qual é preciso fazer uma avaliação crítica antes do dimensionamento. Os principais elementos utilizados para modelar uma dada estrutura são, elementos de barra, elementos de casca ou placa ou elementos sólidos, em que a sua escolha influência o comportamento do modelo numérico. Outro aspecto importante deste método, é o tipo de elemento usado, quanto aos graus de liberdade e a funções de formas associadas ao elemento, que influência a envolvente de esforços com os quais pretendemos proceder ao dimensionamento. Assim, uma das dificuldades do projetista, prende-se com a decisão de qual programa de cálculo que irá reproduzir o comportamento da estrutura da melhor forma para o dimensionamento correcto da mesma. Os dois Programas de Cálculo comerciais mais utilizados, são o Robot millennium e o SAP2000, ambos foram estudados por Nelson Romano Ferreira Carvalho(2008)*"*, e chegou-se à conclusão, que para as lajes fungiformes, o SAP2000 dá uma envolvente de esforços mais precisa devido ao elemento finito usado.

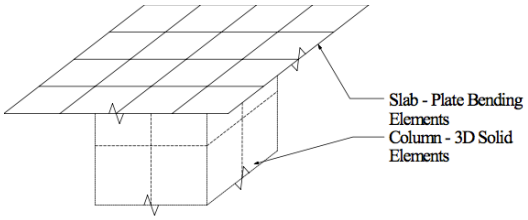


Figura 2.11 - Modelação Laje Elementos Casca e Pilar Elementos Sólidos (adaptado[7])

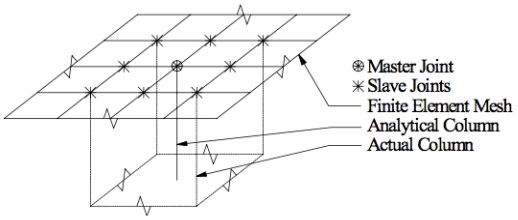


Figura 2.12 - Modelação Laje Elementos Casca e Pilar Elementos de Barra (adaptado[7])

No caso das lajes fungiformes maciças, este método não pode ser aplicado de forma directa, e torna-se necessário definir metodologias que permitam a utilização da envolvente de esforços dada pelo MEF, para o dimensionamento das armaduras a colocar na laje.

Numa modelação das lajes mais simples, os pilares são introduzidos como elementos de barra e as lajes como elementos de casca, isto implica que a transmissão de esforços entre a laje e os pilares é

realizada através de um nó e não pela área de inserção do pilar na laje. Assim os momentos flectores resultantes nestes nós são demasiado elevados e não traduzem a realidade da ligação laje/pilar, que depende da dimensão do pilar e do refinamento da malha. Para reproduzir uma envolvente de esforços coerente, seria necessário modelar os pilares como elementos sólidos, que representa de forma mais correcta o funcionamento da ligação, mas este procedimento têm um grande peso computacional e de análise que não é apetecível na óptica de projecto.

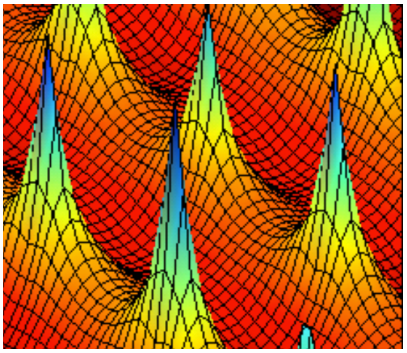


Figura 2.13 - Modelo Simplificado (Adaptado[5])

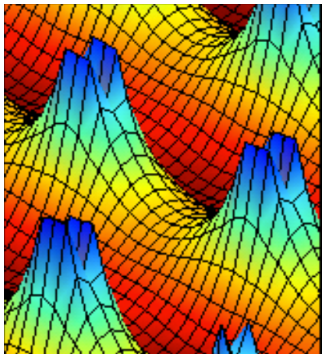


Figura 2.14 -Modelo com recurso aos elementos sólidos (Adaptado[5])

O modelo simplificado de elementos de barra com a laje em elementos de casca, acaba por ser o meio mais usado pelo projetista, dado que os valores dos momentos flectores nas outras zonas da laje, são próximos dos obtidos com a modelação dos pilares com elementos sólidos. Assim, com a definição de metodologias para ultrapassar estas dificuldades, é obtida uma envolvente de esforços para o dimensionamento, que se torna muito mais eficiente no ponto de vista do projetista, na determinação da solução de armaduras a dispor no pavimento.

Para complicar mais a análise dos esforços obtidos pelo MEF, neste tipo de estruturas existem várias irregularidades ao longo do piso, isto é, aberturas na laje, paredes e núcleos rígidos, que introduzem condições novas na estrutura. O dimensionamento das armaduras nestas zonas, não pode ser feito de forma directa, sendo muito vezes necessário fazer um estudo parcial dessas irregularidades.

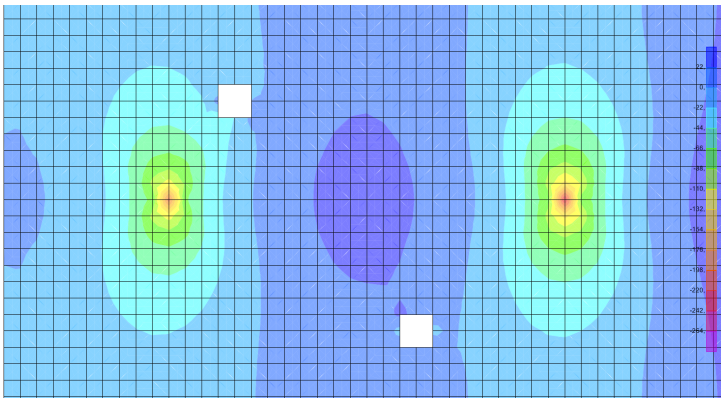


Figura 2.15 - MEF Aberturas Momentos M11

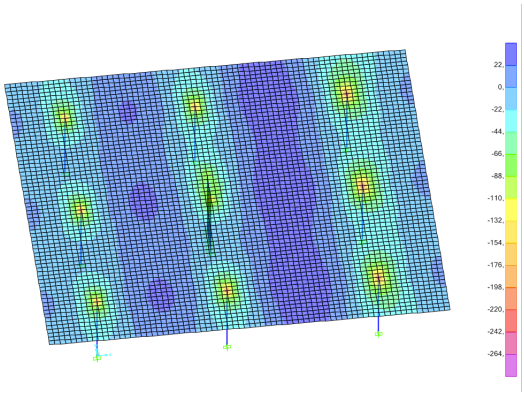


Figura 2.16 - MEF Paredes Momentos M11

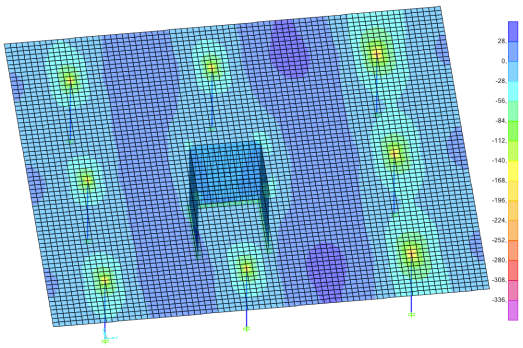


Figura 2.17 - MEF Núcleo Rígido Momentos M11

O dimensionamento das armaduras a dispor nas lajes fungiformes pode ser feito a partir de tensões ou de momentos resultantes. O problema principal em dimensionar armaduras a partir das tensões instaladas nos vários elementos finitos do modelo, pretende-se com as várias componentes de tensão a considerar no cálculo das armaduras, o que implica um processo mais moroso e complexo. Com recurso aos momentos resultantes, o processo torna-se mais simples e direto, por apenas existirem três componentes, dois momentos flectores e um momento torsor, e devido à envolvente dos momentos flectores do modelo ser semelhante ao conceito de pórticos equivalentes. Assim a análise da envolvente é mais simples e o dimensionamento das armaduras é mais adequado.

Neste trabalho, pretende-se tirar partido da vantagem do dimensionamento deste tipo de estruturas, com recurso ao MEF aliada ao desenvolvimento de aplicações de cálculo auxiliares que tornam este processo mais sistematizado, simplificando grande parte do cálculo de armaduras de flexão.

2.3. ANÁLISE PLÁSTICA

2.3.1. MÉTODO DAS LINHAS DE ROTURA

Na maior parte dos casos, as lajes de betão armado são elementos com pequena percentagem de armadura, assim a capacidade para desenvolver curvaturas entre o início da plastificação da armadura e a rotura do mesmo, devido ao esmagamento do betão, é considerável. Numa laje submetida a uma carga crescente, a fendilhação da laje e a plastificação do aço irá ocorrer nas zonas com maior concentração de esforços. Assim, surgem fendas que desenvolvem-se num padrão de linhas de rotura que actuam como rotulas plásticas seguida de uma redistribuição de esforços pelas restantes zonas da laje, até se formar um mecanismo e a laje colapsar, que é indicado pelo aumento de deformação com carga constante.

Para efeitos de análise, assume-se que o padrão das linhas de rotura pode ser imposto na laje, que provocar um mecanismo de rotura e as regiões entre as linhas de rotura continuam rígidas e por fissurar. A rotação ao longo das linhas irá ocorrer para um momento constante igual ao momento de estado limite último de resistência da seção e irá absorver energia. Isto pode ser equacionado à energia dissipada pela aplicação da carga passando por uma compatibilidade de deslocamento, que é conhecido com o Método dos Trabalhos Virtuais.

$$\sum(N\times\delta)=\sum(M\times l_r\times\theta) \tag{2.1}$$

No cálculo da energia externa, é aplicado um deslocamento unitário num ponto conveniente, sendo assim possível determinar os deslocamentos correspondentes das cargas aplicadas e a rotação das linhas de rotura a partir da geometria.

Uma linha de rotura causada pelo momento flector positivo, é geralmente referida como linha de rotura positiva e é representada por traço cheio, enquanto para o momento flector negativo que provoca fendilhação na parte superior da laje, causa uma linha de rotura negativa, representada por linha tracejada.

Deve-se ter especial atenção na escolha do padrão das linhas de rotura, pelo que este método implica uma solução de limite superior, isto é , a solução é correcta ou insegura. As linhas de rotura formam-se em ângulos retos para momentos flectores que ultrapassam a resistência, seguindo-se algumas regras:

1.Linhas de rotura são normalmente direitas e acabam no limite da laje.

2.Estão sobre os eixos de rotação, ou passam pelos pontos de interseção

3. Os eixos de rotação estão sobre os bordos apoiados, passam pelos pilares ou intersectam bordos livres.

Segue-se os padrões típicos das lajes fungiformes:

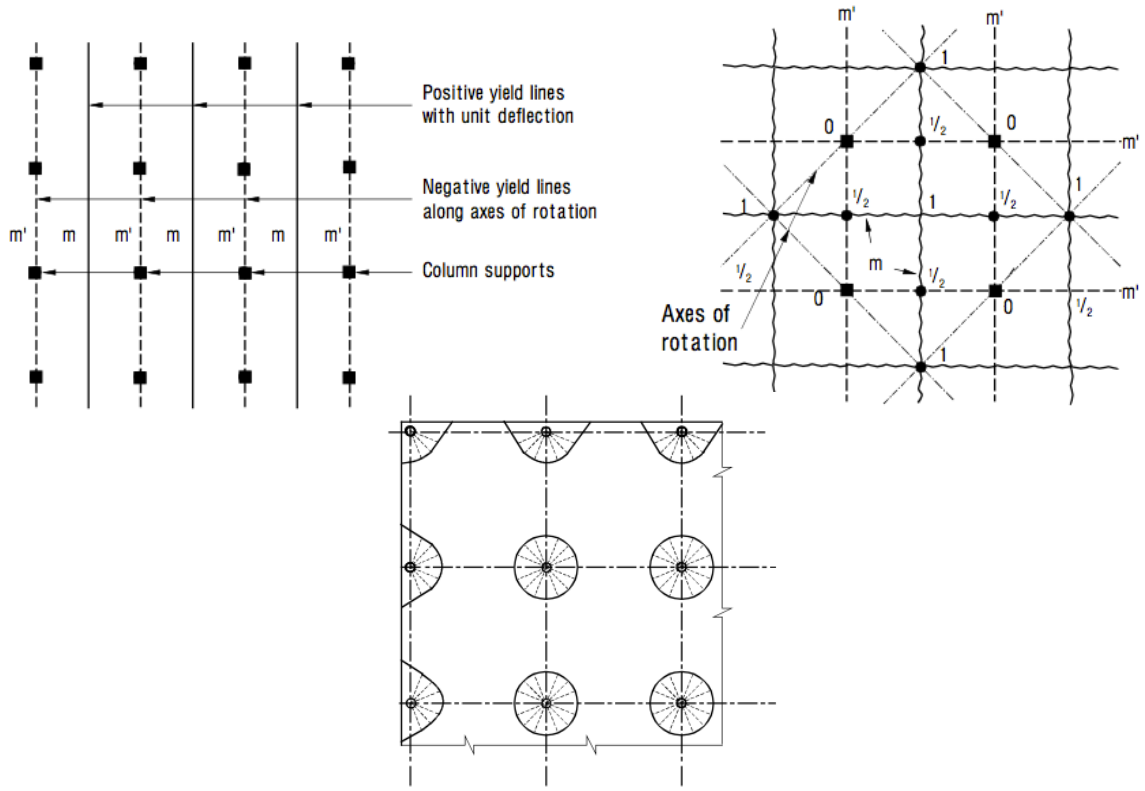


Figura 2.18 - Mecanismos de Rotura (Adaptado[15])

Este método é utilizado nas lajes fungiformes maciças pela facilidade de prever as linhas de rotura e é adequado na presença de cargas concentradas ou em lajes com geometria em planta complexa. É possível obter um dimensionamento económica das secções de betão armado com quantidades de armadura optimizadas, no entanto é apenas utilizado por projetistas experientes por causa do perigo associado a um padrão de linhas de rotura incorreto. No que respeita ao controlo da fendilhação, é necessário ainda por parte do projetista, medidas adequadas para fazer face ao comportamento em serviço.

2.3.2. MÉTODO DAS BANDAS PLÁSTICAS

O método das bandas é baseado no conceito de limite inferior da teoria da plasticidade, que sugere se uma dada distribuição de tensões pela estrutura satisfaz as condições de equilíbrio e sem transgredir os critérios de plasticidade, então a estrutura é segura no sistema de cargas correspondente. Em contrapartida, a estrutura não terá necessariamente um bom comportamento em serviço ou ser optimizada, pelo que é necessário uma grande experiência por parte do engenheiro projetista na seleção de uma distribuição de momentos flectores em que o dimensionamento possa ser feito.

A distribuição de momentos apenas deve cumprir as equações de equilíbrio, o que significa que existem várias distribuições possíveis. Em projecto, a solução escolhida deverá conduzir a quantidade de armadura económica e um bom comportamento em serviço.

Este método é mais eficaz quando existem aberturas na laje e pode ser aplicado no dimensionamento de lajes com qualquer forma geométrica, e assume que na rotura, a carga pode ser transportada por flexão em cada direção separadamente sem a ação dos momentos torsores.

No método simples das bandas plásticas, a laje é dividida em bandas correspondentes à direção da armadura, que transferem diferentes parcelas da carga total. Cada banda pode ser analisada como fosse uma viga, e assim assume-se que a parcela é transportada por cada banda apenas numa direção da armadura. A carga é transportada pelo menor trajeto, isto é a carga deverá ser transferida ao apoio mais próximo, que implica a menor quantidade de armadura.

Considerando uma laje rectangular simplesmente apoiada nos quatro bordos e com cargas uniformemente distribuídas, a carga podem ser distribuídas da seguinte maneira:

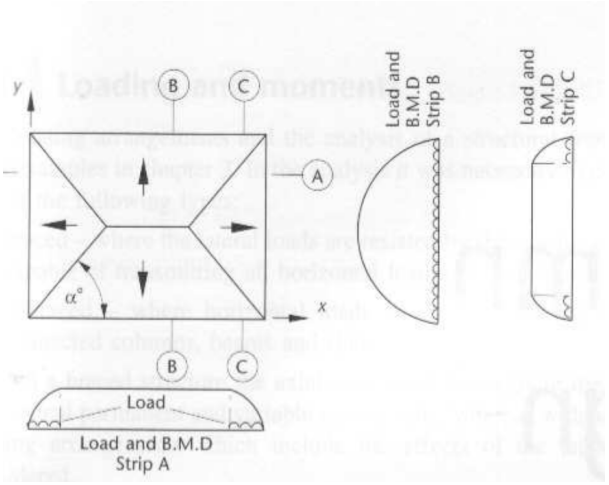


Figura 2.19 - Distribuição de Cargas (Adaptado[10])

A quantificação do ângulo alpha deverá ser feita de forma crítica, mas se alpha for 90º é assumido que a laje é armada numa direção apenas, e apesar de segura, não terá boa prestação em serviço devido à fendilhação na zona dos apoios ao longo do eixo y. Hillerborg sugere que para tal laje, o angulo alpha deverá ser cerca de 45º.

O método simples das bandas plásticas, apenas pode ser aplicado quando as bandas podem ser tratadas como vigas, o que não é possível nas lajes apoiadas em pilares. Em alternativa, surge o método avançado das bandas plásticas que simplifica o dimensionamento, que neste caso cinco faixas em cada direção podem ser usadas. Cada uma destas faixas irá ser dimensionada em flexão para a sua carga particular, como se fossem lajes armadas numa direção. A distribuição das armaduras será uniforme em cada faixa, para produzir um padrão global de armaduras em cada direção. Este método é limitado, no caso de irregularidade da geometria da laje e das condições de carregamento.

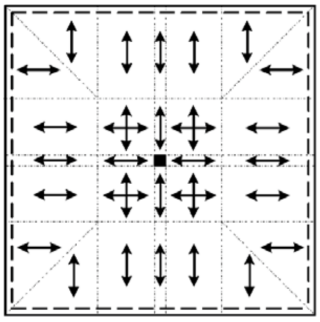


Figura 2.20 - Distribuição dos Momentos nas duas direções (Adaptado[8])

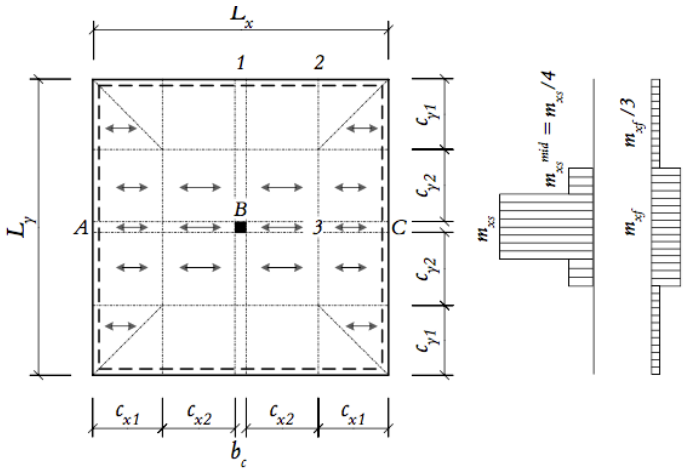


Figura 2.21 - Distribuição dos Momentos na direção x (Adaptado[8])

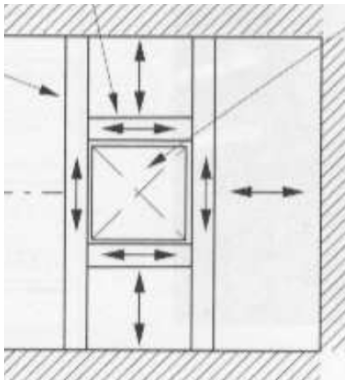


Figura 2.22 - Esquema da Aplicação do Método das Bandas em Aberturas (Adaptado[10])

2.4. REGULAMENTAÇÃO

2.4.1. EUROCÓDIGO 2

Anteriormente foram expostos, apenas quatro métodos de análise dos vários métodos existentes para as lajes fungiformes. Em termos de regulamentação, alguns métodos têm procedimentos obrigatórios e regras a cumprir, enquanto outros apenas são permitidos sem que qualquer informação complementar a seu respeito esteja presente num dado regulamento.

No caso do EC2, este permite o uso de qualquer método que esteja comprovado para a análise das lajes fungiformes, como por exemplo, o método dos pórticos equivalentes, método das grelhas, método dos elementos finitos e o método das charneiras ou linhas de rotura.

Neste regulamento apenas há restrições e regras mais específicas no método dos pórticos equivalentes, no que diz respeito à largura das faixas dos pilares e faixas centrais num painel genérico constituído por quatro pilares, com especificações na presença de capitéis. Quanto às percentagens de momentos fletores a distribuir por cada faixa da laje fungiforme, o EC2 fornece uma distribuição simplificada dos momentos flectores com intervalos de percentagens recomendados, permitindo alguma flexibilidade ao projetista na escolha das percentagens de distribuição.

Quadro 2.1 - Distribuição Simplificado dos Momentos pelas Faixas

	Momentos Negativos	Momentos Positivos
Faixa sobre os Pilares	60%-80%	50%-70%
Faixa Central	40%-20%	50%-30%
Nota: O total dos momentos negativos e positivos, a resistir conjuntamente pelas faixas sobre os pilares e pelas faixas centrais, deverá ser sempre igual a 100%		

Na presença de irregularidades dos pilares se não for possível analisar as lajes fungiformes pelo método dos pórticos equivalentes, o EC2 indica o procedimento simplificado que deverá ser tomado, e permite o uso do método das grelhas ou um outro método de análise elástica, como por exemplo o método dos elementos finitos.

Quanto à disposição das armaduras nos pilares interiores, o EC2 indica estratégia que deve ser tomada quando não são efectuados cálculos rigorosos para as condições de utilização, deverá adoptar-se uma armaduras superior com uma área de 0,5At distribuída numa largura de cada lado do pilar igual a 0,125 vezes a largura do painel. At representa a área das armaduras necessária para resistir ao momento negativo total no pilar.

Segue-se o esquema da distribuição das armaduras:

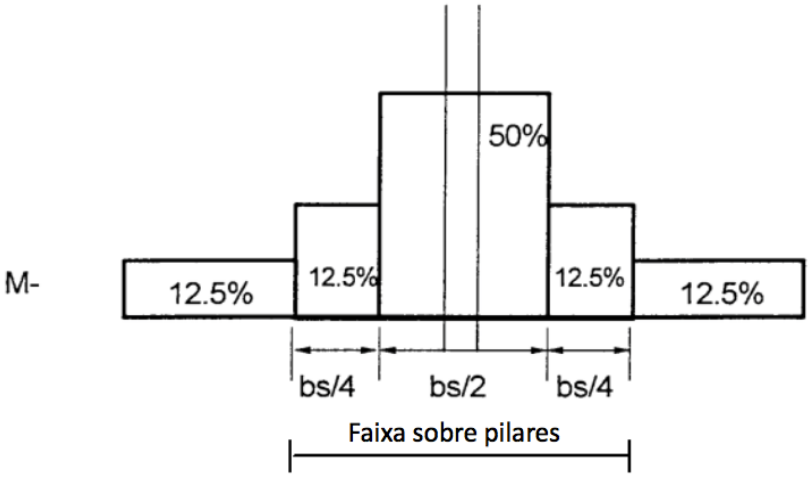


Figura 2.23 - Distribuição das Armaduras nos Pilares Interiores (Adaptado[22])

No caso dos pilares de bordo ou canto, o EC2 também indica um procedimento para obter o momento resistente máximo nestas zonas, devido à reduzida capacidade de transferência dos momentos flectores. Este momento resistente é dado por:

$$M_{Rd} = 0{,}17 \times b_e \times d^2 \times f_{ck} \tag{2.1}$$

Em que be representa a largura efetiva da laje, d a altura útil e fck o valor de cálculo da resistência à compressão do betão. Para pilares rectangulares, na quantificação da largura efetiva de transmissão, este regulamento fornece indicações que permitem chegar ao seu valor, consoante a posição do pilar na laje.

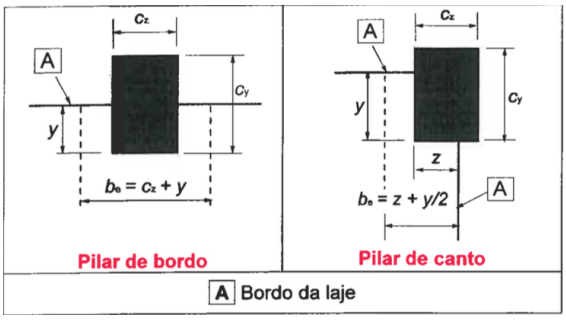


Figura 2.24 - Esquemas para o cálculo da largura efetivas (Adaptado[22])

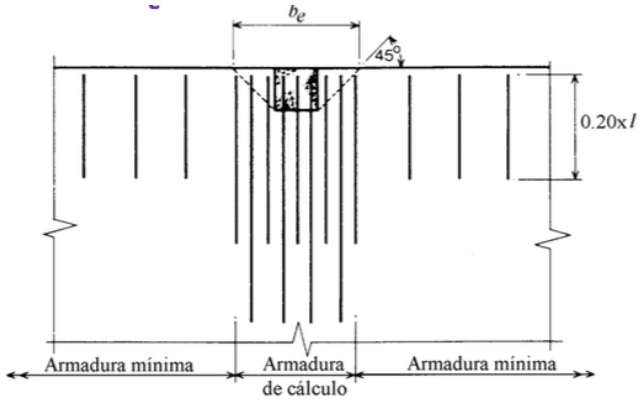


Figura 2.25 - Distribuição da Armadura no caso de Pilar de Bordo (Adaptado[22])

2.4.2. ACI

A regulamentação ACI, difere do EC2 na medida em que têm mais indicações e regras que podem ser aplicadas directamente ao projeto, sem qualquer dificuldade, obtendo resultados de forma rápida mas com pouca análise crítica. Quanto aos métodos para análise das lajes fungiformes, o ACI também aceita o recurso a todos os métodos comprovados com a adição do Método Directo do ACI, um método empírico baseado na experiência e ensaios realizados. Este método têm várias limitações, por exemplo, apenas pode ser aplicado a lajes com um máximo de três vãos em cada direção, a geometria dos vários painel de laje só pode ser rectangular.

Na utilização do método dos pórticos equivalentes, o ACI fornece várias indicações e regras que em parte estão ligadas ao Método Direto do ACI. Segue-se a informação complementar do o ACI em comparação com o EC2:

- aos momentos flectores a considerar ao longo das faixas;
- ao momento de inércia a considerar na face do pilares e na presença de capitéis;
- da rigidez á torção.

Quanto à disposição da armadura nas lajes fungiformes, esta regulamentação indica informação diferente ao EC2 no caso dos pilares de canto, em que a armadura superior e inferior a colocar deverá ser suficiente para resistir ao momento flector por unidade de largura igual ao máximo momento positivos por unidade de largura na faixa da laje. Em termos de disposição, esta regulamentação permite a colocação da armaduras perpendicular aos bordos, ou na diagonal. O ACI indica os vários comprimentos de amarração que devem ser aplicados, no caso das faixas centrais ou faixas dos pilares com ou sem capitéis.

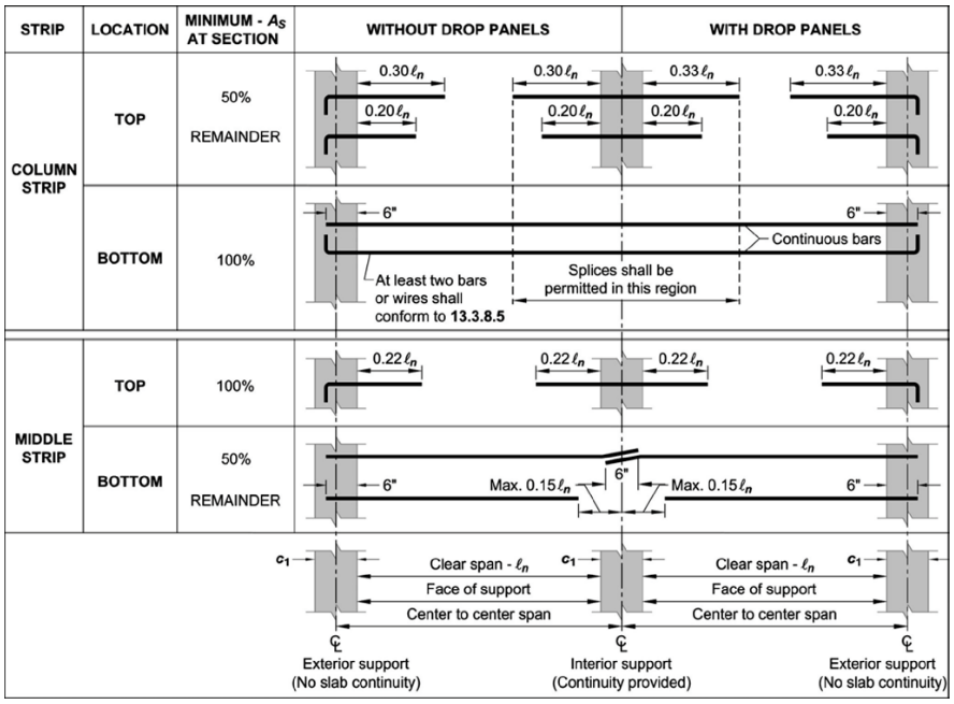


Figura 2.26 - Disposições Construtivas ACI (Adaptado[17])

3

ANÁLISE DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

3.1. INTRODUÇÃO

Na utilização de um programa de cálculo corrente, que integra como ferramenta o método dos elementos finitos, é importante ter conhecimento acerca da formulação do elemento finito usado. Este critério influência muito a envolvente de esforços final, quanto à precisão de resultados. Outro aspeto que afecta a envolvente final é o refinamento da malha, que para o caso das lajes fungiformes, quanto mais refinada for, maior será o momento negativo de pico, e por isso é necessário decidir qual o tamanho da malha a aplicar para obter resultados coerentes para dimensionamento de armaduras. Neste capítulo será alvo de estudo, além dos dois aspectos referidos anteriormente, as implicações têm da alteração da seção do pilar quando este é modelado como elemento de barra ou elemento sólido e o estudo do efeito da fendilhação com recurso MEF.

No âmbito deste capítulo foi criado um modelo de estudo, com as seguintes características:

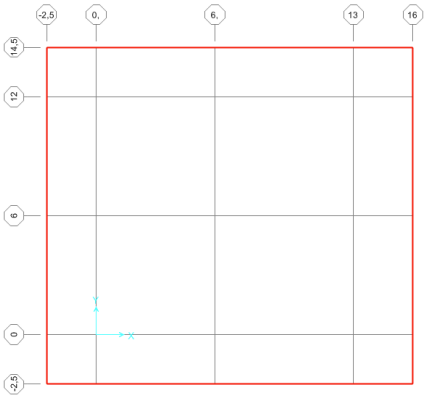


Figura 3.1 - Geometria do Modelo de Estudo

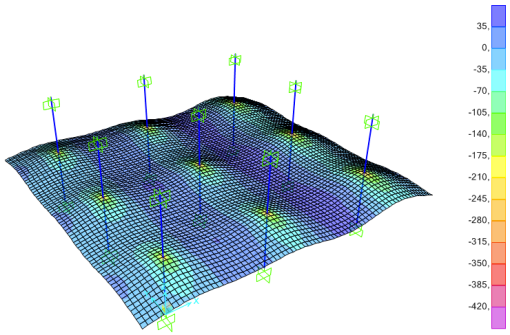


Figura 3.2 - Modelação SAP2000

Quadro 3.1 - Materiais, dimensões e acções

Características Modelo de Estudo									
Materiais		Pilares		Laje					
Betão	Aço	Dimensão(m^2)	Altura(m)	Espessura(m)	PP(kN/m^2)	qk(kN/m^2)	ψ2	PedELS(KN/m^2)	PedELU(KN/m^2)
C25/30	S500	0,4x0,4	3,5	0,275	6,875	3	0,3	9,8	16,5

Este modelo têm como propósito, estudar as propriedades do MEF com recurso ao SAP2000 e algumas estratégias de modelação, ter em consideração o efeito da alternância de vãos, e também permitir o inicio do desenvolvimento da ferramenta de cálculo auxiliar. A parte inicial da ferramenta calcula o momento médio no nó, sendo essencial para analisar os resultados obtidos do SAP2000.

3.2. TIPO DE ELEMENTO FINITO SAP2000

O elemento finito do SAP2000 é um elemento de 4 nós que não é isoparamétrico. Considerando um elemento finito de 4 nós com um total de 16 rotações, espalhadas pelo elemento na forma de 2 rotações por cada nó e por cada ponto intermédio de cada lado do elemento. Em cada nó é introduzido um grau de liberdade correspondente ao deslocamento vertical, que impõe uma função cúbica em uz. Por decomposição das rotações nas componentes normais e tangenciais, e recorrendo à condensação estática, resulta num elemento com 8 funções de forma, em que 4 são funções bi-lineares standard correspondentes aos nós e 4 funções de forma hierárquicas em cada nó intermédio. Assim é possível convergir mais rapidamente para a solução exacta, do que um elemento isoparamétrico de 4 nós.

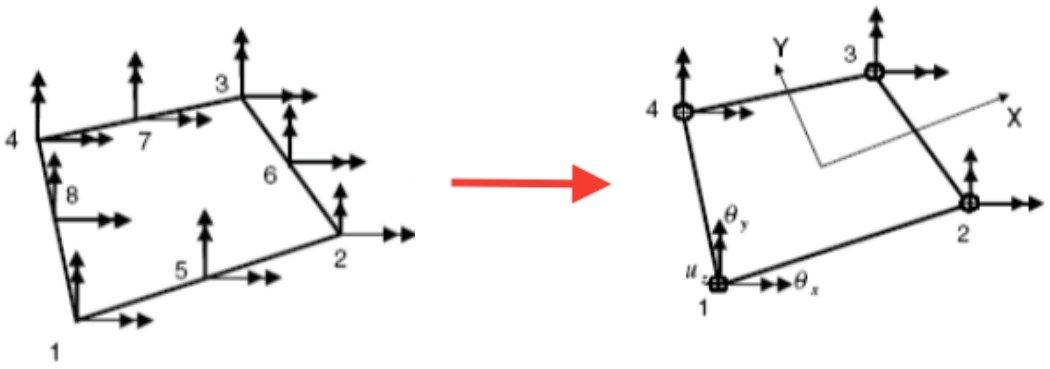


Figura 3.3 - Elemento Finito Inicial (Adaptado[16]) Figura 3.4 - Elemento Finito Final (Adaptado[16])

Então os resultados obtidos com recurso deste elemento, encontram-se entre a solução do elemento de 4 nós e a do elemento de 8 nós, ambos isoparamétricos. Assim, conclui-se que a formulação do elemento do SAP2000 reproduz melhores resultados do que com o elemento isoparamétrico de 4 nós, com aproximadamente o mesmo peso computacional. Ainda é de referir que no SAP2000, é possível integrar as deformações por corte, mas no caso de lajes finas estas deformações são desprezáveis, pelo que em regra só são tomadas em consideração quando a espessura da laje é maior que 1/10 do vão.

Apenas falta saber qual as convenções do SAP2000, no que respeita aos referenciais locais, numeração de nós e sinais dos momentos flectores e torsores. Seguem-se dois esquemas que representam estes aspectos:

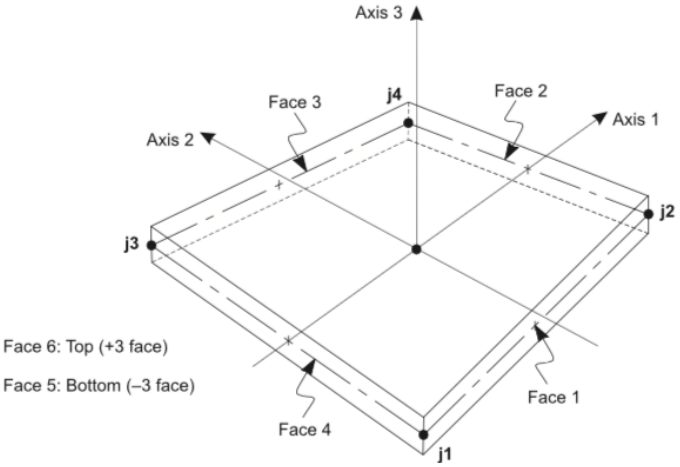


Figura 3.5 - Elemento de Casca Quadrilátero de Quatro Nós (Adaptado[12])

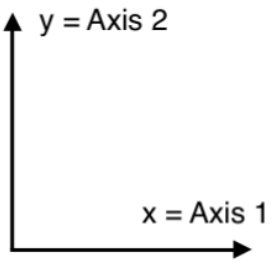


Figura 3.6 - Referenciais

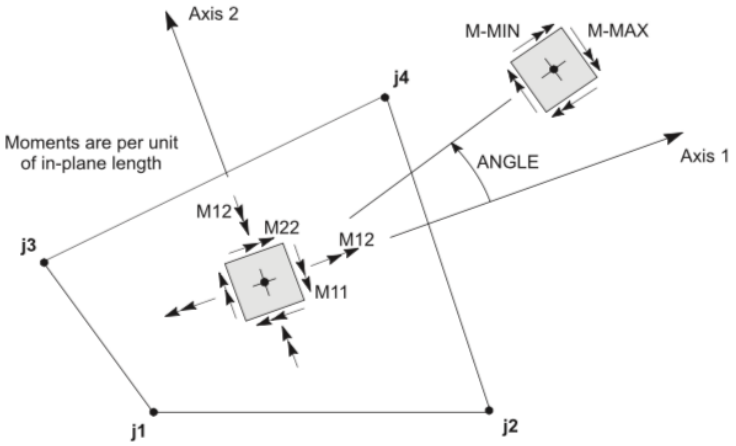


Figura 3.7 - Momentos Fletores e Torsores do Elemento (Adaptado[12])

3.3. Refinamento da malha

A escolha dos valores finais dos esforços obtidos a partir do MEF que serão aplicados na metodologia, dependem do refinamento da malha que foi gerada para calcular a mesma. Isto é, uma malha em que o elemento têm uma dimensão muito grande, os resultados tendem a estar muito longe da realidade, enquanto se o elemento for muito pequeno, os resultados tendem para a solução exacta. Então à medida que se refina a malha, começa-se a convergir para a solução exacta, mas sempre tendo em linha de conta que quanto menor for a área do elemento finito, mais extenso será o cálculo o que resulta em mais peso computacional.

Nas lajes fungiformes, a dimensão do elemento é condicionada pela posição do eixo do pilar na laje, pelo que é necessário fazer coincidir um nó da laje com o nó do elemento de barra para criar a ligação pilar/laje. A malha deverá ser preferencialmente constituída por elementos finitos quadrados com as mesmas dimensões aumentando a precisão do comportamento do modelo do pavimento.

Em projeto, a dimensão inicial do elemento que é experimentada nos programas de calculo correntes, é igual a 1/10 do maior vão respeitando o que foi anteriormente dito, sendo que é a partir deste valor

que se começa o refinamento da malha. Na maior dos casos, a divisão dos elementos é feita de acordo com o número de elementos em cada vão que compatibiliza a malha com os todos os pilares da laje, o que resulta em elementos com dimensões aproximadas.

A seguir é apresentado um gráfico com os valores dos momentos flectores M11 nos nós que pertencem ao alinhamento central do modelo de estudo, em que são modelas com elementos com dimensões de 0,5, 0.25 e 0.1 respectivamente:

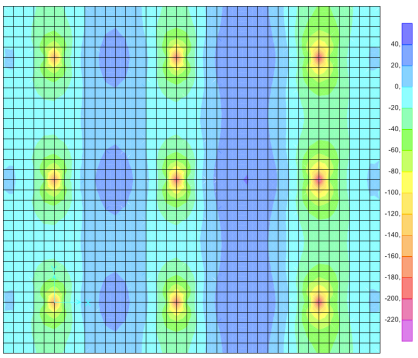


Figura 3.8 - Momentos M11 Malha 0,5m

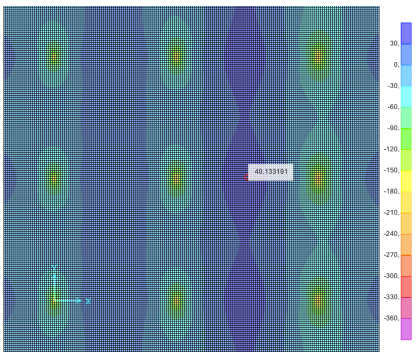


Figura 3.9 - Momentos M11 Malha 0,1m

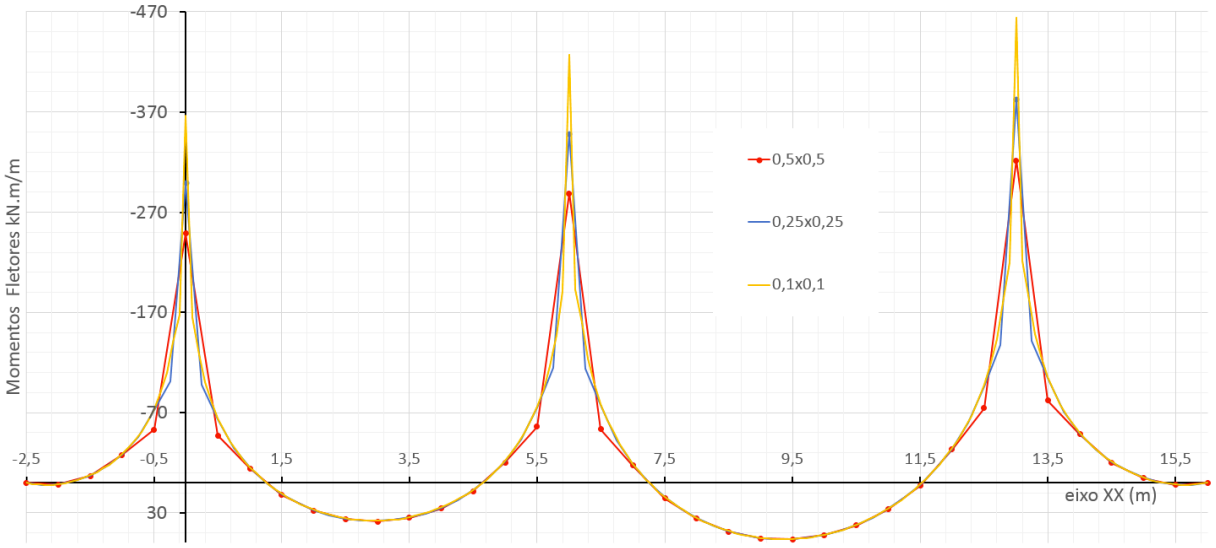


Figura 3.10 - Diagramas de Momentos M11

Como é possível constatar, os momentos flectores que mais se alteram com o refinamento da malha, são os momentos flectores de pico nos pilares, sendo que globalmente os momentos flectores positivos e parte dos negativos são aproximadamente iguais. A dimensão de 0,5m dos elementos corresponde a uma divisão dos vãos superior a 10 elementos, sendo suficiente para obter uma envolvente de momentos flectores da laje correta.

3.4. DIMENSÃO DO PILAR

A dimensão do pilar influência a envolvente de esforços e a forma como são transmitidos os momentos flectores, devido à rigidez à flexão na face do pilar ser infinita, em comparação com a rigidez da faixa de laje. Assim, para obter comportamento real da ligação do pilar com a laje aproximado, no caso de modelação, só pode ser reproduzido com recurso a métodos que distribuem a rigidez pela área do pilar. No caso do modelo simplificado verifica-se o contrário ao comportamento real da estrutura, em que existe flexibilidade entre o centro geométrico do pilar e a face em que a transferência dos momentos flectores ocorre apenas num ponto infinitesimal.

Para reproduzir o efeito da dimensão dos pilares nas lajes fungiformes com aproximação ao comportamento real da ligação, existem várias possibilidades de modelação das lajes fungiformes e dos pilares e consequentemente foram desenvolvidos métodos que auxiliam os diferentes tipos de modelação para reproduzir uma melhor aproximação. No caso do modelo com elemento de barra e elementos de casca, pode-se aplicar uma distribuição da rigidez da ligação pilar/laje pelos nós que pertencem, na geometria em planta, à área do pilar. Outro método é modelação do pilar com elementos sólidos, que representa a melhor aproximação, mas com maior peso computacional.

Existem vários trabalhos desenvolvidos por diferentes autores acerca deste fenómeno, em que estudam várias estratégias de modelação e métodos a utilizar com a finalidade de definir as estratégias que traduzem o comportamento real da ligação e a sua aplicabilidade em projeto. Assim, neste capítulo, serão expostos resultados obtidos em dois trabalhos distintos.

Um dos trabalhos a expor é o de Enochsson, Ola. e Dufvenberg, Peter (2001), em que exploraram duas situações de modelação. A primeira consiste na distribuição da rigidez pelos nós numa laje fungiforme modelada com elementos sólidos, em que variam o número de nós afectados pela distribuição de rigidez. Em segundo, é modelada laje da mesma forma, mas são introduzidos pilares modelados com elementos sólidos. Segue-se a geometria do modelo utilizado:

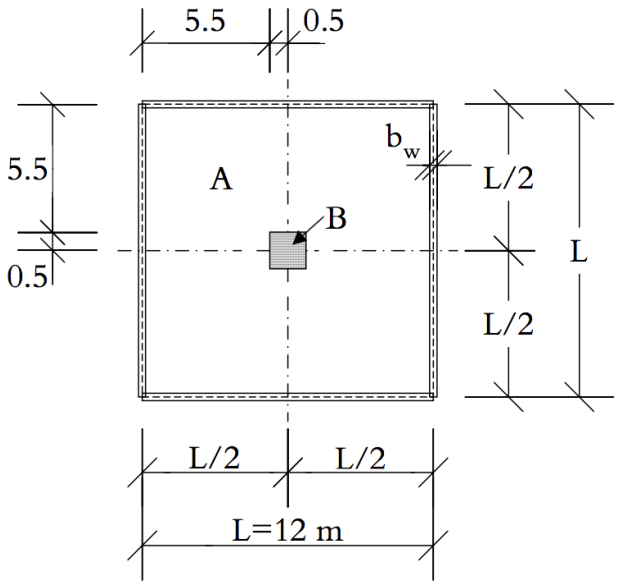


Figura 3.11 - Geometria do Modelo Utilizado (Adaptado[8])

Apresentam-se os resultados obtidos através das duas estratégias de modelação anteriormente mencionadas:

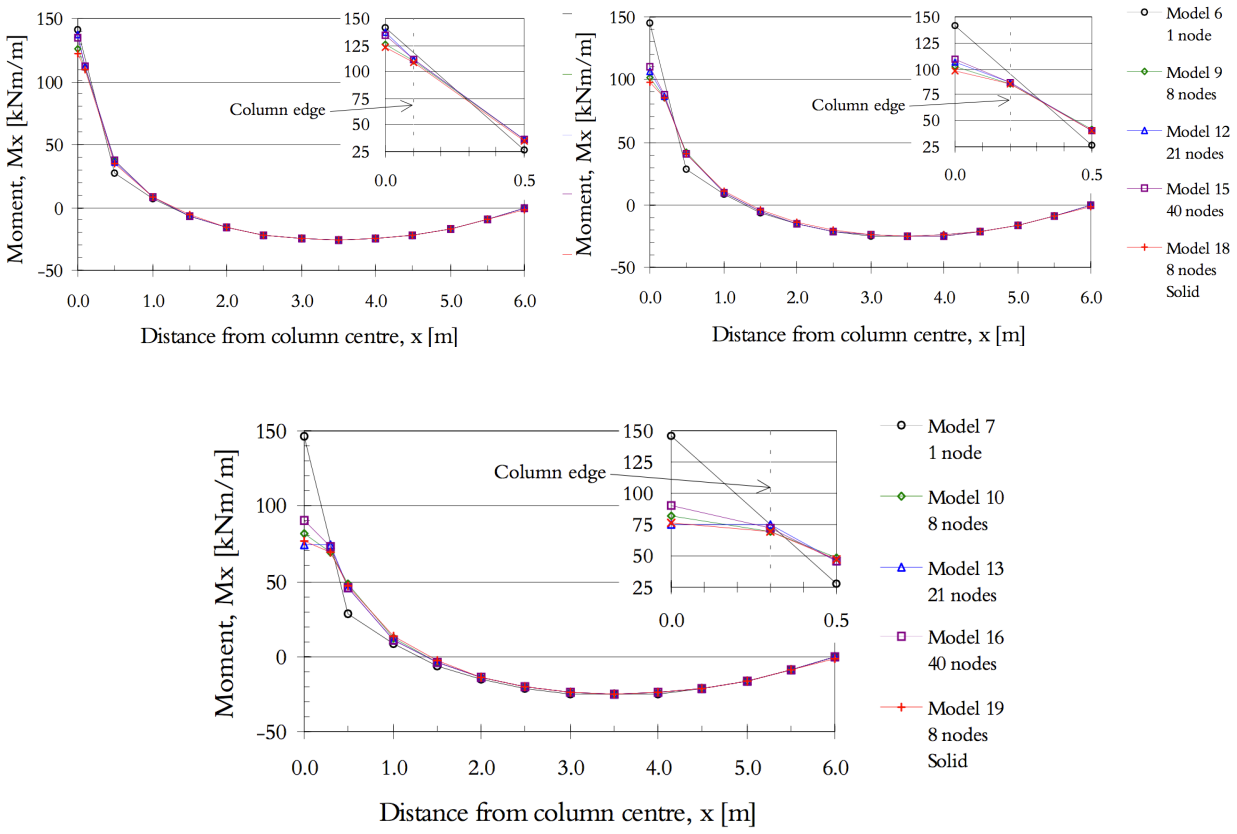


Figura 3.12 - Diagramas Mx; Dimensão do pilar 0,1x0,1; 0,2x0,2; 0,4x0,4, para cada modelo (Adaptado[8])

Como era de prever a solução com maior redução de momentos flectores transferidos pela área do pilar, corresponde à modelação com elementos sólidos que mais se aproxima do comportamento real da ligação. Em contraste com o Model7 1node, que corresponde ao modelo simplificado, pode-se verificar que o momento de pico do pilar é bastante elevado em comparação com o obtido com Model 19 Solid nas três situações.

O método de distribuição de rigidez é discutível, no que respeita à quantidade de rigidez a distribuir pelos nós e quais os nós que devem ser afectados. Estes aspetos influênciam de forma severa os resultados, como é possível ver nos gráficos anteriores, em que quanto maior é o número de nós nos quais é incrementada a rigidez, maior é o momento de pico.

Por último é exposto o trabalho de Carvalho, Nelson Romano Ferreira(2008), em que estudou vários parâmetros que influenciam os resultados dos esforços nas diferentes zonas das lajes fungiformes. Em termos de modelação definiu quatro estratégias de modelação das lajes fungiformes, mas com recurso ao SAP2000. Destas quatro estratégias apenas vão ser referidas duas principais, designadas de Caso A e Caso C. O Caso A corresponde ao modelo simplificado e no Caso C os pilares foram modelados com elementos sólidos. Em ambos os modelos os vãos são de 7,5m de comprimento, em que a laje

fungiforme é modelada com elementos de casca. Seguem-se os resultados obtidos por estas duas estratégias e alguns esquemas:

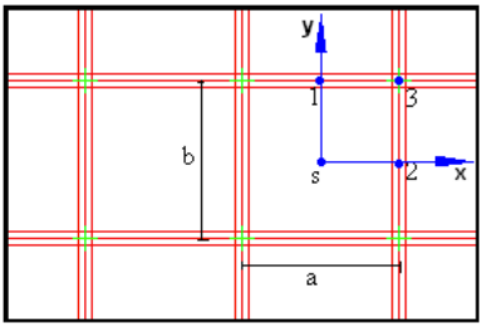


Figura 3.13 -Referencial e localização de pontos específicos (Adaptado[5])

Quadro 3.2 - Momentos fletores obtidos, para cada dimensão do pilar, em cada caso respetivamente (Adaptado[5])

	Caso A - Apoio				Caso C - 4 elementos sólidos			
	0.2x0.2m^2	0.4x0.4m^2	0.8x0.8m^2	1.0x1.0m^2	0.2x0.2m^2	0.4x0.4m^2	0.8x0.8m^2	1.0x1.0m^2
Mxs[kN.m/m]	90.27	89.93	90.15	89.74	90.42	90.63	89.00	86.05
Mx1 [kN.m/m]	144.75	145.03	146.54	145.19	145.40	144.63	138.86	133.35
My1 [kN.m/m]	-51.50	-50.47	-49.68	-49.17	-50.48	-50.19	-47.27	-47.47
Mx3 [kN.m/m]	-1151.70	-1051.34	-885.72	-820.43	-794.86	-559.46	-205.91	-38.53
Mx,face	-929.60	-780.87	-600.89	-550.92	-753.06	-553.89	-266.48	-180.74

É possível constatar, para as várias zonas da laje fungiformes, excluindo os momentos na zona dos pilares (Mx3 e Mx,face), que os valores dos momentos flectores entre os dois casos é muito próximo, sendo ligeiramente superiores no Caso A em relação ao Caso C. Esta diferença entre valores amplifica-se com o aumento da seção do pilar, sendo mais notável na zona do alinhamento de pilares (Mx1 e Mx3). No Caso C, a modelação é feita com recurso a elementos sólidos, que influência o desenvolvimento dos momentos fletores na faixa dos pilares, onde há maior concentração de esforços. Dito isto, pode-se concluir que a envolvente obtida através de um modelo simplificado, na maior parte das zonas críticas das lajes fungiformes, é suficiente para alcançar valores para dimensionamento corretos.

O mesmo não acontece na zona do pilar, em que os valores dos momentos em cada caso, para a mesma dimensão de pilar, não são da mesma ordem de grandeza. Face à disparidade entre os valores dos momentos entre estes dois casos, pode-se concluir que a dimensão do pilar na laje fungiforme têm influência no comportamento real da ligação laje/pilar, alterando de forma significativa e relevante a os esforços de flexão desde o eixo até ao limite do pilar.

A implementação de elementos sólidos traduzem uma ótima aproximação do comportamento real da ligação do pilar e da estrutura global. Mas este tipo de modelação têm um problema de aplicação em projeto, quanto à duração do processo de cálculo aliado ao aumento de peso computacional sendo preferível criar modelos simplificados.

Assim, recorrendo ao modelo simplificado, para ultrapassar a dificuldade sentida na determinação dos momentos flectores na zona dos pilares, é necessário definir metodologias que lidam com estes aspetos e permitam obter esforços de dimensionamento. Em projeto, na maior parte dos casos correntes este é o procedimento adoptado, pelo que dá uma resposta rápida ao problema com valores de dimensionamento corretos.

3.5. EFEITO DA FENDILHAÇÃO NAS LAJES FUNGIFORMES

3.5.1. FENDILHAÇÃO

Nas estruturas de betão, é inevitável a ocorrência de fendas ao longo do comprimento da peça em estudo, em consequência do comportamento não-linear do betão como material estrutural e das acções externas. Existem várias causas para a formação de fendas, no contexto deste trabalho, apenas interessa estudar o efeito da fendilhação devido às acções directas, mais especificamente acerca das fendas de flexão, que numa dada seção, desenvolvem-se a partir da fibra mais tracionada até ao eixo neutro.

Para um dado carregamento, numa dada seção de betão armado, quando a resistência à tração do betão é excedida, começam a surgir fendas de flexão e a parcela da área de betão abaixo da linha neutra, não contribui para a resistência. Assim, para cargas de serviço, o comportamento estrutural do betão armado é diferente do modelo elástico linear considerado, tanto devido à fendilhação, como aos efeitos diferidos.



Figura 3.14 - Lajes Fungiformes Maciças, Fendilhação em Pilares de Bordo (Adaptado)



Figura 3.15 - Formação de Fendas de Flexão (Adaptado[2])

Desde do estado de repouso até a rotura, o betão passa por diferentes estados, que são caracterizados pelo estado de fendilhação da estrutura. O estado inicial é designado de Estado I, em que as tensões de tração não atingiram a resistência à tração do betão, podendo ser considerado um comportamento próximo do linear elástico. Quando esta resistência é ultrapassada, começa o Estado II que divide-se em duas etapas, a fase de formação de fendas e a fase de fendilhação estabilizada (Estado II_0). Na primeira, ocorre uma diminuição da rigidez em função da formação de fendas , na fase de fendilhação estabilizada, não surgem novas fendas, e o comportamento do elemento estrutural pode considerar-se quase linear com rigidez próxima do Estado II_0, em que a parcela da resistência do betão tracionada é desprezada. No momento em que se atinge o estado de rotura, a armadura começa a plastificar e o comportamento da peça torna-se não linear.

Este efeito é importante no estudo das lajes fungiformes, pelo que é na zona da ligação laje/pilar e ao longo dos alinhamentos dos pilares, que a fendilhação é mais severa induzida pela elevada concentração de esforços de flexão nessas áreas. Este é um dos critérios mais importantes que sensibiliza o projetista, na escolha da percentagem de redistribuição dos momentos flectores, na afectação do momento de pico do modelo dado pelo MEF e na escolha dos valores dos esforços para dimensionamento.

.

Para uma melhor compreensão da fendilhação nas lajes fungiformes, irá ser estudado um caso presente no trabalho de Enochsson, Ola. e Dufvenberg, Peter (2001), no qual são comparados valores dos momentos flectores após fendilhação obtidos de um ensaio laboratorial. Os resultados são obtidos com recurso a dois programas, sendo um deles com base em cálculo elástico linear (FEM-Desing) que tem em consideração a alteração da rigidez e outro uma análise não linear (Abaqus).

Dado que, os valores fornecidos foram exportados directamente dos programas, torna-se necessário recorrer a um método que permita obter valores comparáveis para aplicar no modelo usado no ensaio experimental e proceder a uma análise crítica. Como não se pretende fazer uma análise extensiva sobre este assunto, recorreu-se ao método simplificado, presente no EC2.

3.5.2. QUANTIFICAÇÃO DO FATOR DE REDUÇÃO DE RIGIDEZ

Para reproduzir o efeito da fendilhação, com recurso ao método dos elementos finitos, é necessário reduzir a rigidez dos elementos em que o momento flector atuante excede o momento de fendilhação. Esta alteração impõe uma redistribuição de esforços, ocorrendo um aumento nos elementos que anteriormente à modificação, não era ultrapassada a resistência á tração do betão. Assim, uma parte dos elementos em que houve uma amplificação de esforços de flexão irá ser ultrapassada a resistência à tração, o que implica um acréscimo de zonas fendilhadas. Para modelar o efeito da fendilhação num modelo de MEF, é preciso implementar uma iteração na modificação da rigidez dos elementos finitos até atingir a envolvente final.

A determinação da rigidez fendilhada dos elementos, pode ser obtida através do cálculo das curvaturas, aplicando o Método Simplificado do EC2, para a Verificação de Flechas por meio de cálculo. Este método têm em consideração o comportamento descontínuo das estruturas de betão armado, isto é , tem em conta as secções fendilhadas e as secções vizinhas. Por esta razão, é necessário definir um valor médio da extensão da armaduras tracionada para estimar a fendilhação e o valor médio da curvatura.

A curvatura total no tempo decompõe-se em curvatura elástica, e nas curvaturas devidas à fluência e retração. Como apenas se pretende estudar, a forma como os momentos flectores são afectados nas zonas esforçadas das lajes fungiformes, apenas é considerada a curvatura elástica. A relação entre curvaturas e os momentos flectores, é dada por:

$$y'' = \left(\frac{1}{r}\right)_t = -\frac{M}{EI} \tag{3.1}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_t = \left(\frac{1}{r}\right)_{ce} + \left(\frac{1}{r}\right)_{cc} + \left(\frac{1}{r}\right) = \left(\frac{1}{r}\right)_{ce} \tag{3.2}$$

A rigidez à flexão é representada por EI. O valor da curvatura do modelo real, pode ser dividido por duas partes, sendo respectivamente Estado I e o Estado II_0. A primeira parte, tem em conta a resistência do betão à tração e à compressão, pelo que as seções não estão fissuradas. Na segunda parte, as seções estão fendilhadas, portanto não é contabilizado a resistência à tração do betão. Assim, o modelo é composto por curvatura em estado I e curvatura em estado II_0, às quais deve ser afectada com um coeficiente de repartição que têm em conta a diferença entre o valor médio e os dois valores extremos.

O coeficiente de repartição é definido pela seguinte expressão:

$$\zeta = 1 - \beta\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_2}\right)^2 = 1 - \beta\left(\frac{M_r}{M}\right)^2 \tag{3.3}$$

, em que β=0,5 e ζ =0 se M<Mr

Então a rigidez média é dada por:

$$\frac{1}{r_m}=(1-\zeta)\frac{1}{r_1}+\zeta\frac{1}{r_2}=-\frac{M}{EI_m} \quad (3.4)$$

O fator de redução de rigidez é então :

$$\text{Factor}=\frac{EI_m}{EI_{Estadol}} \quad (3.5)$$

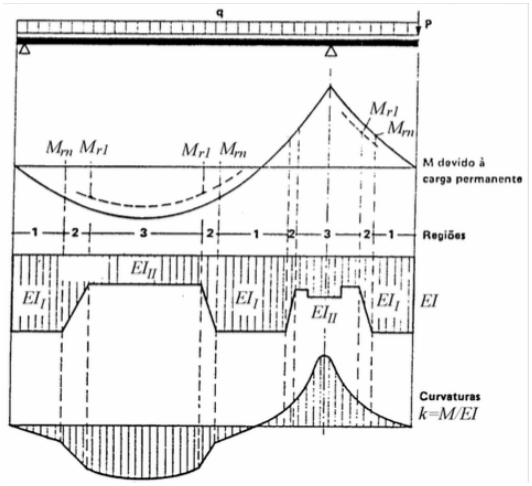


Figura 3.16 -Relação entre Momentos Fletores, Rigidez à flexão e Curvaturas (Adaptado[2])

3.5.3. MODELO DO ENSAIO EXPERIMENTAL

O interesse em realizar um estudo completar deste modelo experimental, em primeiro deve-se à geometria, condições de apoio e carregamento do modelo do ensaio. Se os apoios forem substituídos por cargas pontuais descendentes e a carga concentrada substituída por um elemento de barra que cumpre a função de suporte, desprezando a influência da seção do pilar no MEF, é uma aproximação da ligação pilar/laje. Em segundo, deve-se aos resultados obtidos pelos programas de cálculo, serem referentes aos momentos flectores em torno da linha que liga o ponto de aplicação da carga ao bordo do painel, que representa a forma como se desenvolve a variação dos momentos flectores desde do centro de uma faixa de pórtico equivalente, até ao seu limite.

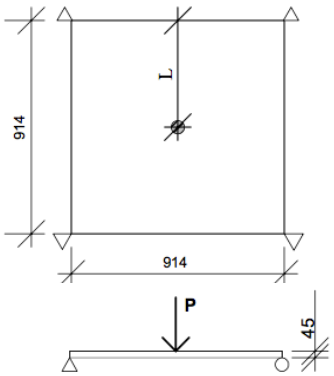


Figura 3.17 - Geometria Modelo de Ensaio (Adaptado[8])

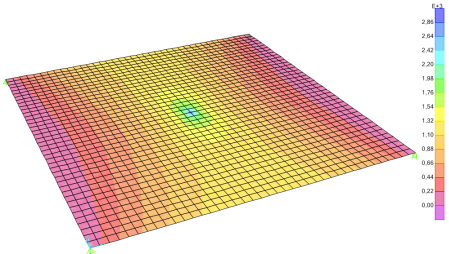


Figura 3.18 - Carga Concentrada Aplicada no Centro do painel

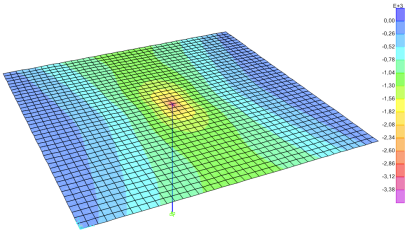


Figura 3.19 - Painel Apoiado num pilar central

Não existe qualquer dado sobre quantidades de armaduras utilizadas, pelo que em ambos os programas, apenas foram introduzidas características dos materiais usados, recobrimento, geometria, condições de apoio, carregamento e a malha de elementos finitos. Segue-se o procedimento usado no dimensionamento e no estudo do processo de fendilhação.

O valor da carga máxima usada nos programas, irá corresponder a nossa carga de serviço, então é considerado aproximadamente:

$$P_{ELS} = 4{,}84kN \Rightarrow P_{ELU} = 4{,}84 \times 1{,}5 = 7{,}26kN \quad (3.6)$$

Recorrendo ao SAP2000, criou-se um modelo com as características anteriormente referidas e através do MEF, obteve-se os valores dos momentos flectores nos nós que correspondem a momentos unitários. Para dimensionamento das armaduras a colocar, aplicou-se o conceito dos pórticos equivalentes, em que a divisão das faixas têm em consideração a carga concentrada no centro da laje. Apenas foram definidas três faixas, para garantir alguma concentração de armadura na zona carregada, mas nas zonas da faixa dos pilares central mais afastadas da carga.

Num cálculo mais extensivo, recorrendo a este método, era necessário dividir em mais faixas, para dimensionar uma distribuição de armadura mais razoável que acompanha a redução de esforços de flexão ao longo do painel. Na determinação dos valores de dimensionamento, ao longo de cada faixa são feitas SectionCuts, que correspondem à integração dos momentos flectores de vários elementos ao longo de uma linha transversal ao pórtico equivalente, que resulta no momento total da faixa no ponto médio dessa faixa. Em anexo A, encontram-se as tabelas com o dimensionamento das armaduras de cada Section Cut, em cada direção. O esquema seguinte, mostra a disposição das armaduras, considerada nas respectivas faixas:

Direção Y	Faixa	Armaduras(cm2/m)	SectionCuts	Largura	Direção X		Armaduras	SectionCuts	Largura
0,914	FP de Canto	2,18	SC3	0,11425	0,914	FP de Canto	1,51	SC3	0,11425
	FC	2,18	SC2	0,2285		FC	1,53	SC2	0,2285
	FP Central	3,26	SC1	0,2285		FP Central	2,26	SC1	0,2285
	FC	2,18	SC2	0,2285		FC	1,53	SC2	0,2285
	FP de Canto	2,18	SC3	0,11425		FP de Canto	1,51	SC3	0,11425

Quadro 3.3 - Momentos fletores obtidos, para cada dimensão do pilares, em cada caso respetivamente

Optou-se por dimensionar uma armadura a dispor ao longo de cada faixa, para o valor de momento flector mais alto respetivo. Dado os valores próximos entre a faixa FC e a FP de Canto, decidiu-se uniformizar a armadura nestas duas faixas, por terem quantidade de armaduras muito próximas. Com as quantidade de armaduras definidas, é possível calcular a rigidez para o Estado I e Estado II_0, através do cálculo dos momentos de inércia para as duas situações. Os valores dos vários momentos de inércia para fase não fendilhada e fase fendilhada em cada faixa estão presentes no Anexo A.

Os valores para a análise fendilhada, são os momentos flectores em estado limite de utilização nos nós que pertencem ao alinhamento que passa pela carga concentrada. Para proceder à quantificação do coeficiente de repartição, decidiu-se usar a média dos vários coeficientes calculados para cada nó em que o momento flector ultrapassava o Mcr da respectiva direção e faixa. Isto porque, como o carregamento na laje é feito por uma carga concentrada, não é razoável definir um coeficiente de

repartição para o momento flector máximo do alinhamento, em que deixa de ser possível utilizar a analogia entre tensões e momentos flectores no coeficiente, pelo que não é garantida a resistência na zona de concentração de esforços. Seguem-se duas imagens com o aspecto geral dos momentos flectores antes e após a redução da rigidez dos elementos finitos.

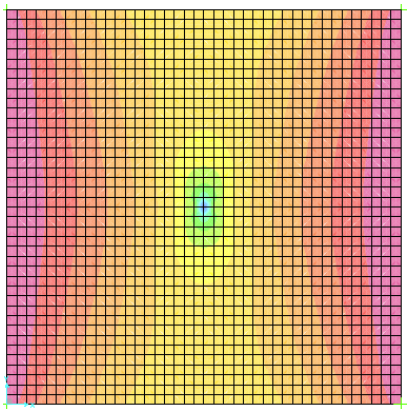


Figura 3.20 - Momentos M11 Antes da fendilhação

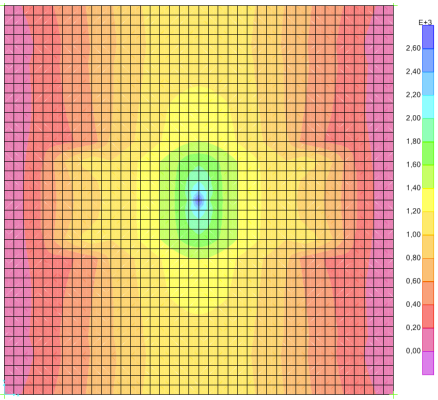


Figura 3.21 - Momentos M11 Após da fendilhação

Assim, é possível comparar os valores obtidos com este método aproximado, tendo em consideração as simplificações efectuadas. Segue-se o gráfico com os valores dos dois programas mencionados, mais os valores calculados.

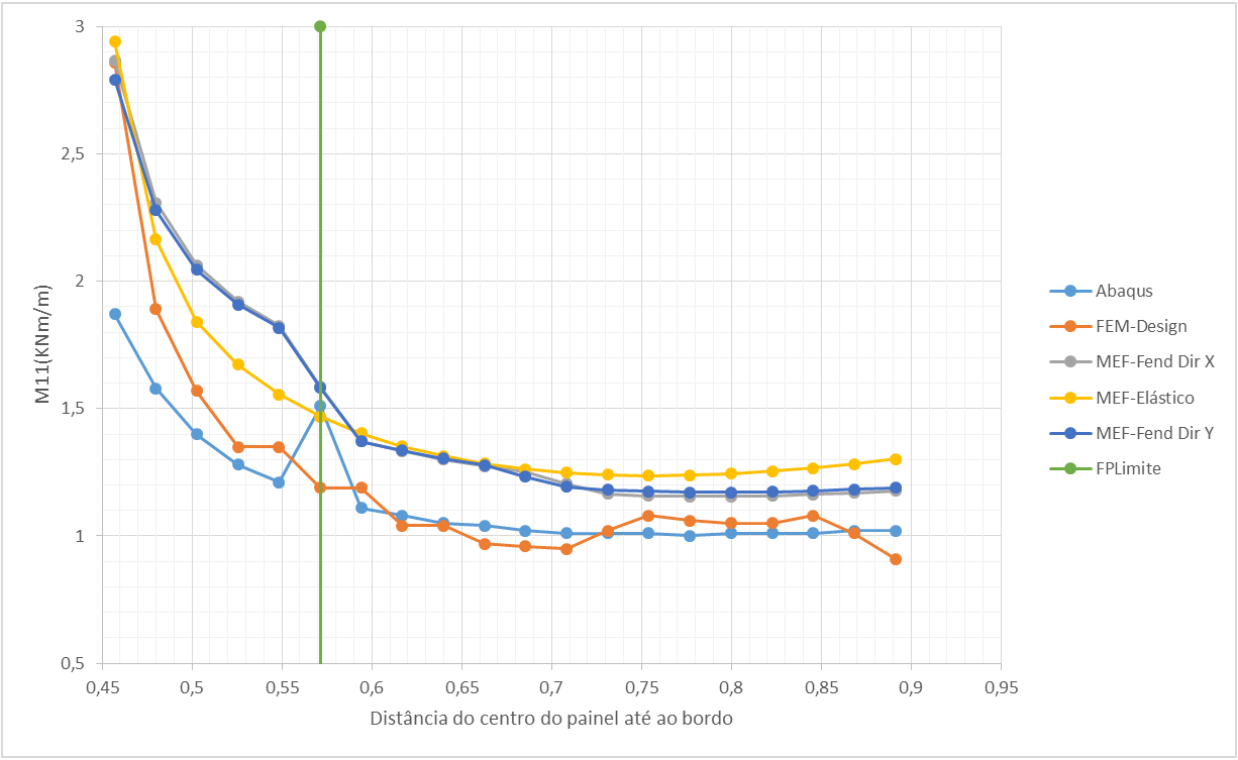


Figura 3.22 - Comparação entre os valores dos Momentos M11 (Dir X) ao longo da direção yy, dos Momentos M22 (Dir y) ao longo da direção xx e momentos elásticos obtidos pelo SAP2000 e os valores obtidos pelo Abaqus e FEM-Desing

Sendo a laje de características materiais e geométricas propositadas para um ensaio laboratorial e submetida a uma carga concentrada no seu centro geométrico, é complicado obter as quantidade de aço a introduzir na laje a partir de métodos de dimensionamento em que as proporções para os quais foram desenvolvidos são de uma escala superior. Os valores do momentos M11 apresentados na figura 3.22, encontram-se no Quadro A.6 no Anexo A.

Para obter uma solução de armaduras mais correcta com recurso ao método dos pórticos equivalentes, era necessário subdividir em vários pórticos equivalentes principalmente na zona da carga, com intuito de obter as quantidades de armadura que acompanham a evolução acentuada dos esforços de flexão nessa zona. Outro aspecto a salientar, reside nos valores de dimensionamento, em que apenas foi usado o valor máximo de cada faixa para calcular uma quantidade de armadura não longo dessa faixa.

Assim, no modelo criado com recurso ao SAP2000 (Linhas MEF-Fend Dir X ou Y), após a fendilhação no ponto em que a carga concentrada é aplicada há uma acentuada redução de esforços, e como na vizinhança deste ponto existe grande quantidade de armadura, há um aumento esforços de flexão nesta zona até à linha FPlimite que corresponde ao bordo da FP Central. Como ocorre este aumento de esforços nesta zona, consequentemente verifica-se um alívio na zona mais afastadas do centro da carga e menos carregadas.

Apesar do que anteriormente foi referido, é possível concluir que a fendilhação associada à flexão implica uma considerável redução de esforços nas zonas em que estes mais se concentram. Isto significa que quando se dimensiona as armaduras em estado limite último, se não for tido em conta o efeito de redução de rigidez, as quantidades de aço, nas áreas em que foi ultrapassada a resistência à tração, serão superiores à que seria necessária. Nas restantes zonas, há um aumento de esforços de flexão, ou seja, a armadura existente poderá não ser suficiente para resistir às novas condições de equilíbrio.

No caso do programa, além de considerar a fendilhação induzida pela flexão, integra o comportamento não linear do betão armado, que se reflecte na grandeza dos valores obtidos de 0,45 até 0,5 m em comparação com os restantes modelos.

3.5.4. Aplicação no caso de estudo

Para consolidar o conhecimento do efeito de fendilhação em relação às lajes fungiformes, foram aplicados no Caso de Estudo, os métodos e conceitos anteriormente exposto para melhor compreender a relevância deste fenómeno no dimensionamento das armaduras de flexão. Inevitavelmente, é na região dos pilares que o efeito da fendilhação têm maior importância, assim apenas resta analisar quais a zonas restantes que devem ser consideradas neste estudo para não ser feito uma cálculo extensivo deste problema.

Para determinar quais das restantes zonas serão mais relevantes no estudo da rigidez, foi analisada a grandeza dos esforços nos nós ao longo do alinhamentos dos pilares e nos nós de um alinhamento intermédio da zona da faixa central do o pórtico equivalente em y=6. Segue-se um esquema mais detalhado do modelo de estudo e um gráfico com os valores dos momentos flectores M11 ao longo do alinhamento em questão:

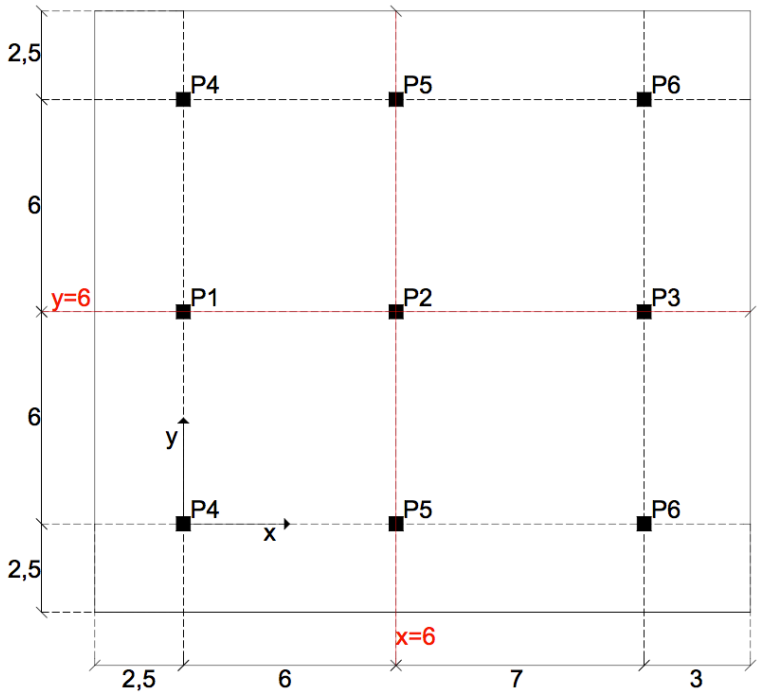


Figura 3.23 - Representação da geometria do Modelo de Estudo

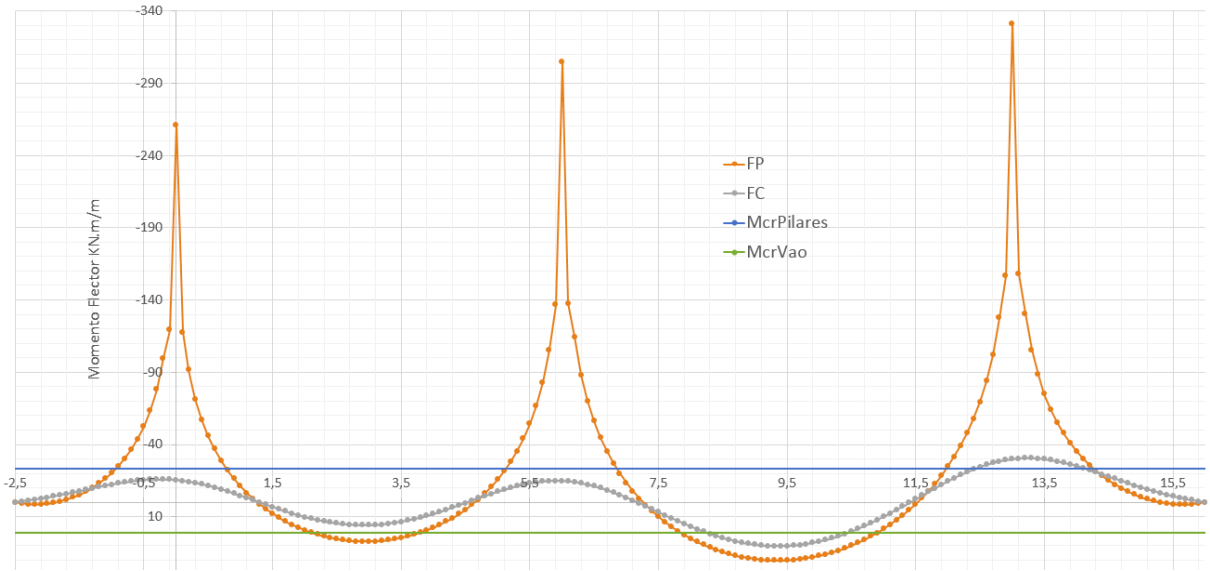


Figura 3.24 - Momentos M11 para a faixa dos pilares e faixas centrais do pórtico y=6

Através do gráfico, é possível verificar que para além da região dos pilares, a região a meio do vão de 7m no alinhamento dos pilares deve ser tido em conta , em comparação com a grandeza de momentos flectores positivos e negativos ao longo da faixa central e nas restantes zonas de momentos positivos no alinhamentos dos pilares. Esta análise foi realizada unicamente no tramo entre os pilares P2 e P3 correspondente ao pórtico y=6.

Para obter os valores de dimensionamento, tendo em conta que as zonas relevantes são limitadas pela faixa dos pilares, com recurso às SectionCuts do SAP2000, fez-se a integração dos momentos nos

pilares P2 e P3 e aos 9,5m. Assim, o cálculo das armaduras superiores apenas foi feito para os pilares P2 e P3 e as armaduras inferiores na zona do meio vão.

Posto isto, falta apenas calcular os coeficientes de repartição para cada zona, com o mesmo procedimento que foi sugerido anteriormente, resultando em quatro coeficientes de repartição para as quatro armaduras dimensionadas nesta laje. No Anexo B, estão presentes os valores de dimensionamento e as respetivas armaduras, os momentos de inércia antes e após fendilhação e o cálculo dos coeficiente de repartição e os respetivos fatores de redução.

Seguem-se uma figura constituída por três imagens com a representação dos elementos nos quais foi reduzida a rigidez e a envolvente dos esforços antes e após fendilhação, um gráfico com os esforços de flexão M11 antes e após fendilhação ao longo do alinhamento y=6 e uma tabela com os valores respectivos dos pontos mais relevantes com a percentagem de redução:

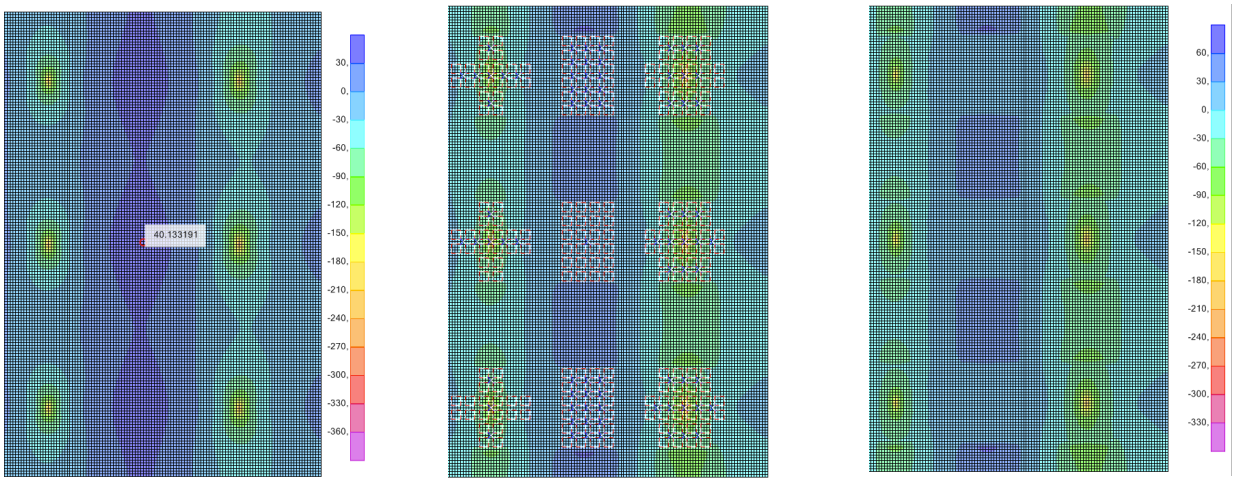


Figura 3.25 - Momentos M11 Elástico, Seleção dos Elementos e Momentos M11 Fendilhação entre P2 e P3

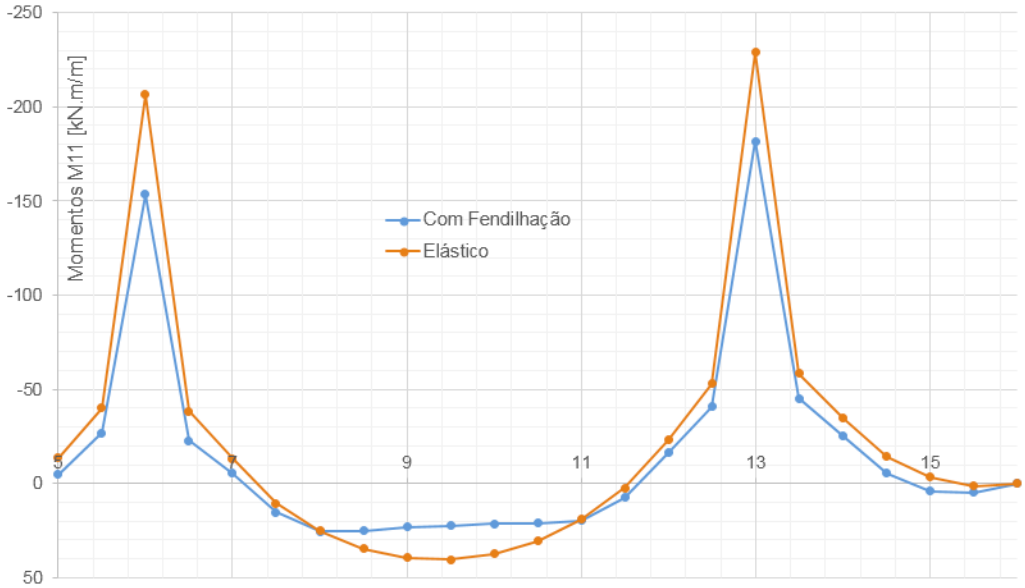


Figura 3.26 - Momentos M11 Antes e Após Fendilhação, para a faixa dos pilares e faixas centrais do pórtico y=6

.

Quadro 3.4- Momentos fletores obtidos para os nós mais afetados pela fendilhação e a respetiva redução de Momento

Nó	x	y	M11Elastico[kN.m/m]	M11Fendilhada[kN.m/m]	%
P1	0	6	-177,84	-128,29	27,9%
569	3	6	32,65	27,79	14,9%
P2	6	6	-206,33	-153,46	25,6%
1020	9,5	6	40,28	22,33	44,6%
P3	13	6	-228,73	-181,84	20,5%
Nó	x	y	M22Elastico[kN.m/m]	M22Fendilhada[kN.m/m]	%
P5	6	0	-194,58	-144,15	25,9%
P2	6	6	-202,08	-137,21	32,1%

É possível verificar que a fendilhação provoca uma redução de esforços significativa nas zonas críticas, em que nos pilares ocorreu uma redução em média de 25%, sendo por esta razão importante ter em consideração o seu efeito na determinação dos valores de dimensionamento nestes pontos em que o momento é exagerado devido à modelação. Na zona do vão de 7 metros, a percentagem de redução de momentos flectores positivos é mais elevada, sendo cerca de 45%, que mostra a influência da fendilhação na face inferior entre um dado alinhamento quando o comprimento do vão começa a aumentar.

Este fenómeno demostra a grande capacidade de redistribuição de esforços nas lajes fungiformes, em que o aumento de esforços nas restantes zonas é inferior, cerca de 15%(nó 569), pelo que existem várias zonas das lajes em que a resistência à tracção não foi ultrapassada devido a alta concentração de esforços nos pilares.

Esta capacidade de redistribuição das lajes fungiformes é importante na optimização da solução, pelo que a quantidade de armadura obtida a partir de uma análise elástica sem redistribuição de esforços será superior à quantidade necessária para garantir o estado limite último. Após isto, com armadura optimizada para estado limite último é feita a verificação quanto aos requisitos de serviço impostos pela regulamentação.

Outro aspecto importante de referir é a forma como a fendilhação modifica os momentos flectores ao longo da faixa de pórtico equivalente. A redução de rigidez foi apenas feita na zona da faixa dos pilares, por ser nesta faixa que a fendilhação é mais severa, em comparação com as faixas centrais. Na seguinte figura são expostos 5 gráficos que representam os momentos ao longo da faixa do pórtico em consideração:

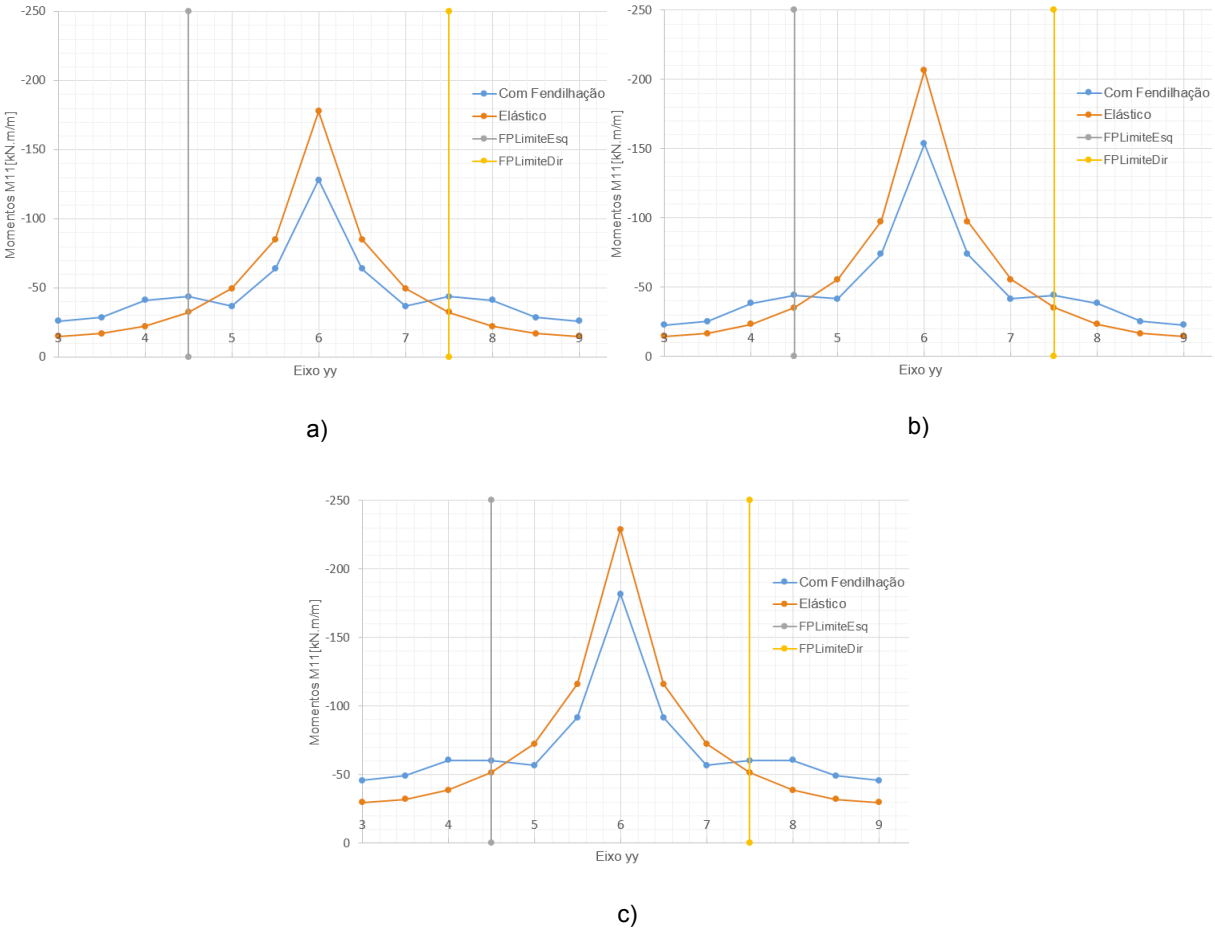


Figura 3.27 - Momentos Negativos M11 no pórtico y=6 sobre os pilares a) P1, b) P2, c) P3

Conclui-se que devido à redução dos momentos flectores na faixa dos pilares, há uma redistribuição de esforços ao longo das faixas centrais, nas quais praticamente não foi atingido o momento de fendilhação, implicando o aumento do nível de momentos flectores em todas as faixas centrais. Este aumento deve ser tido em conta, pelo que pode ser ultrapassada a resistência em Estado Limite Último ou originar fendilhação nas faixas centrais podendo ser necessário a colocação de maior quantidade de armadura para verificar as condições de serviço.

Um aspecto a realçar é a relação entre a diminuição de esforços na zona do pilar e aumento de ao longo do pórtico equivalente, associados ao momento de pico do pilar. Isto é, quanto maior for o momento de pico no pilar, maior será o aumento dos esforços de flexão ao longo das faixas centrais, pelo que é neste ponto que se verifica uma maior redução de esforços.

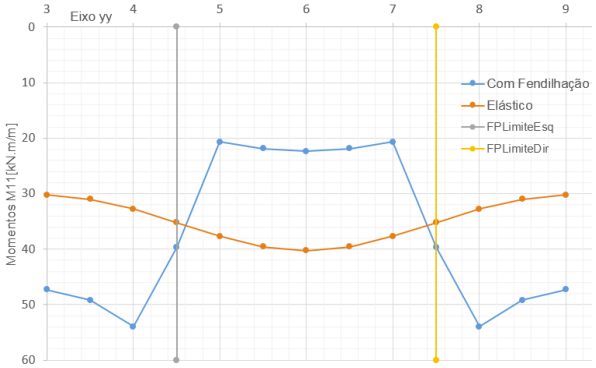


Figura 3.28 - Momentos Positivos M11 do pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3

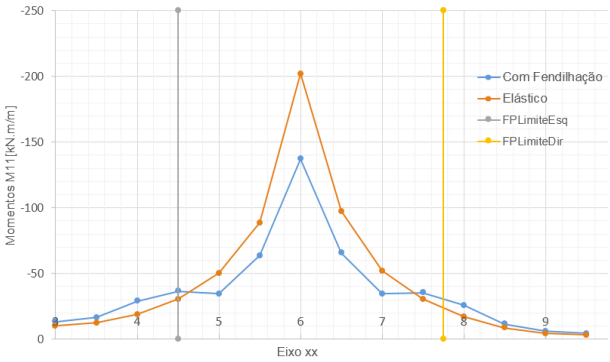


Figura 3.29 - Momentos Negativos M11 do pórtico x=6 sobre o pilar P2

No caso das zonas de momentos positivos na faixa dos pilares, dependendo da grandeza de vãos, também pode ocorrer uma redistribuição de esforços severa, que deve ser tida em conta na dispensa de armaduras.

Ainda é de salientar, a influência da alternância de vãos da mesma ordem de grandeza nas faixas centrais. Analisando o pórtico equivalente central y=6 em comparação com o pórtico equivalente central x=6, pode-se observar que no pórtico y=6, ocorre um aumento de esforços nas faixas centrais mais suave. Isto deve-se ao acréscimo de comprimento no lado direito do pórtico, que proporciona uma maior quantidade de faixa para a qual podem ser redistribuídos os esforços.

Este estudo foi importante para perceber a relevância da fendilhação no dimensionamento das armaduras para estado limite último, sendo importante na definição da metodologia a aplicar, no que toca à ponderação dos coeficiente de redistribuição à aplicar em toda a laje fungiforme.

4
METODOLOGIAS DE ANÁLISE

4.1. INTRODUÇÃO

Na aplicação do Método dos Elementos Finitos no caso das lajes fungiformes, é necessário implementar metodologias para a análise de esforços e para o dimensionamento das armaduras. No que diz respeito à análise de esforços e obtenção de valores de dimensionamento, estes devem ter em atenção à presença de efeitos intrínsecos ao tipo de modelação escolhida, pilares desalinhados, aberturas nas lajes e existência de paredes ou núcleos rígidos.

No âmbito desta dissertação, interessa apenas desenvolver uma metodologia que resolva os problemas associados aos pico de momentos negativos nos pilares interiores, derivado da sua modelação como elementos de barra. Esta metodologia permite obter os valores de dimensionamento, que cumprem a regulamentação do EC2, para obter as quantidades de armadura que garantam a resistência em Estado Limite Último na maior parte da situações, em que não estão presentes aspectos particulares.

4.2.ESTRATÉGIAS

Existe pouca informação no que diz respeito à definição de metodologias que podem ser aplicadas nas lajes fungiformes, por estas serem desenvolvidas pelo projetista e dependerem da sua experiência e conhecimento neste tipo de estrutura. Muitos artigos científicos abordam os problemas associados com a complexidade da ligação laje/pilar e tentam reproduzir modelos para estudar o seu comportamento real através de ensaios laboratoriais. Outros exploram as regras e especificações dos regulamento, maioritariamente no âmbito do ACI, propondo alterações em parâmetros presentes. Em alguns livros e dissertações abordam as lajes fungiformes no contexto de projeto, em que um dos critérios na escolha do momento flector de dimensionamento nos pilares interiores, poderá ser o valor do momento flector na posição da face do pilar no modelo numérico.

Através do conhecimento dos vários problemas associados às lajes fungiformes, em projeto as metodologias podem ser implementadas em duas fases, em primeiro na fase de modelação e em segundo na análise de esforços fornecida pelo programa de cálculo corrente. No trabalho de Carvalho, Nelson Romano Ferreira(2008), a metodologia desenvolvida fornece uma resposta às duas fases. Sendo a metodologia desenvolvida sobre uma análise elástica com recurso ao SAP2000, é importante o seu conhecimento para ajudar a compreender o seu processo desenvolvimento. Em seguida será descrita esta metodologia proposta abordando apenas aspetos mais importante.

Na fase de modelação, é imposta uma quebra na malha de elementos finitos da laje fungiformes, por uma pequena faixa posicionada no alinhamento dos pilares, delimitada pela dimensão do pilar. Isto introduz um maior refinamento na malha dentro desta quebra e assim os resultados fornecidos pelo SAP2000 na face dos pilares e no centro geométrico dos mesmo, não são tão elevados em comparação com o modelo simplificado. Após a modelação, é imposto um critério de seleção de valores para a

zona dos pilares, no caso das figuras abaixo indicadas, para um pórtico equivalente vertical da laje, os valores máximos do momento flector na zona do pilar, correspondem momento no ponto da face do pilar.

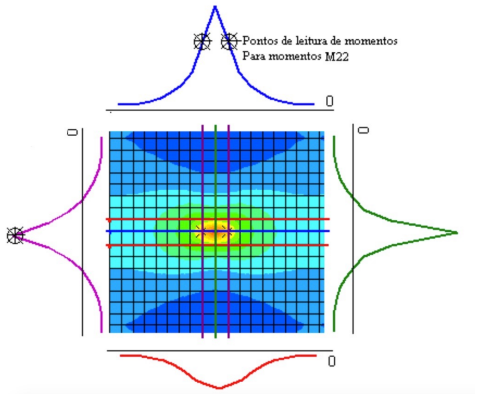


Figura 4.1 - Pontos de leitura de momentos fletores na face do pilar para M22 (Adaptado[5])

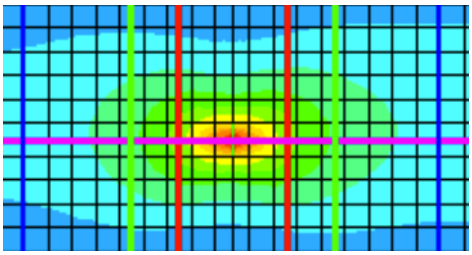


Figura 4.2 - Representação das várias faixas a considerar ao longo do pórtico equivalente, Momentos M22 (Adaptado[5])

A partir deste pontos até ao limite respetivo da faixa do pórtico é feita a média entre vários momentos com posições escolhidas pelo autor, com intuito de obter três momentos que caracterizam três partes diferentes do pórtico, denominadas de faixa centrada, faixa intermédia e faixa central. A escolha dos momentos positivos é feita da mesma forma, mas a leitura dos momentos flectores começa a partir do eixo dos pilares.

Um dos problemas principais desta metodologia, reside na modelação da laje fungiformes, mais especificamente na malha de elementos finitos. No caso de existir um pilar desalinhado ou pilares com dimensões distintas, a imposição do refinamento entre pilares deixa de ser plausível.

No âmbito da presente dissertação, pretende-se definir uma metodologia que seja aplicada na fase de análise de dados, sendo a modelação feita com recurso a um modelo simplificado de elementos de casca e elementos de barra. Assim o processo de modelação com recurso ao SAP2000 é mais rápido, sendo apenas necessário introduzir uma metodologia que trate dos momentos de pico.

Numa fase inicial do desenvolvimento da metodologia, a ideia fundamental consistia em arranjar uma forma de reduzir os momentos de picos nos vários pilares. Consequentemente é necessário redistribuir essa redução pela restante envolvente, obtendo como resultado final uma envolvente de esforços na qual o equilíbrio seja garantido. A percentagem de redução deve ser de tal ordem que baixa o momento de pico dos vários pilares para um valor de dimensionamento aceitável respectivamente, tendo em considerações os efeitos derivados do tipo de modelação e ter em conta a fendilhação. Além desta percentagem, também se pretendia implementar uma análise elástica com Redistribuição, o que iria aumentar o valor da percentagem de redução.

Esta ideia têm dois problemas, em primeiro é complicado incorporar uma função que altere todos os valores nos nós, pelo que estes constituem uma função discreta. Isto significa que a envolvente de esforços é descrita por uma dada quantidade de valores que correspondem aos nós, sendo complicado tratar este tipo de função de forma analítica ao contrário de uma função superfície (f(x,y)) na qual a redistribuição de esforços seria de aplicação mais directa. Em segundo lugar, esta percentagem de redução implicaria um aumento exagerado dos momentos positivos em toda a laje o que não parece ser realista.

Assim, o objetivo que deve ser cumprido na metodologia a desenvolver passa por realizar uma Análise Elástica com Redistribuição, para optimizar as quantidade de aço a colocar, devido à capacidade de redistribuição de esforços que este tipo de estrutura possui, respeitando sempre que possível as condições de equilíbrio.

4.3. METODOLOGIA

A perspetiva do presente trabalho, aponta para a definição da metodologia que pretende implementar uma adaptação dos diagramas de momentos, procurando respeitar o equilíbrio mas atenuando os momentos de pico que resultam da modelação das lajes fungiformes. Para tal, começou-se por aplicar o conceito dos pórticos equivalentes na divisão dos vários alinhamentos de pilares na envolvente de esforços calculada através do MEF com recurso ao SAP2000.

A envolvente obtida pelo MEF, corresponde a uma função discreta, em que cada nó é caracterizado pelos vários esforços associados, que neste caso apenas interessam os momentos unitários M11 e M22. Assim, para obter um valor que caracteriza toda a faixa de um dado pórtico equivalente num dado nó no alinhamento dos pilares desse pórtico, através da integração do diagrama de momentos unitários, obtêm-se o Momento Global expresso em kN.m nesse nó do alinhamento dos pilares.

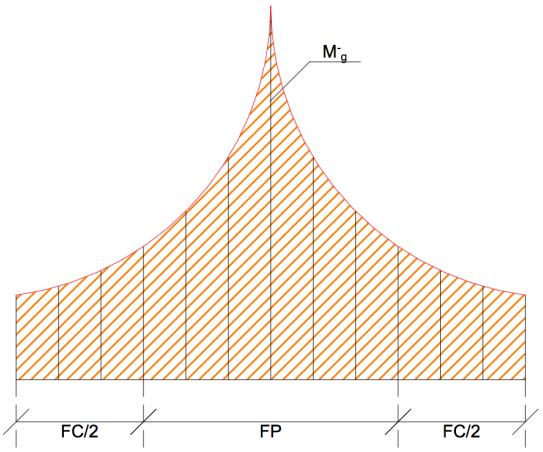


Figura 4.3 - Representação do Momento Global Negativo na faixa de um pórtico

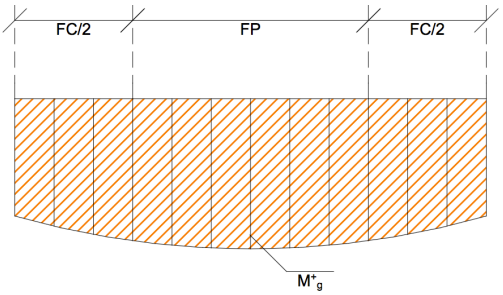


Figura 4.4 - Representação do Momento Global Positivo na faixa de um pórtico

Para calcular a integração do diagrama de momentos unitários, é utilizada a regra dos trapézios que consiste em calcular a área dos vários trapézios, sendo que a base menor e maior corresponde aos valores dos momentos unitários em cada extremo e a altura é a dimensão do elemento finito. Esta regra resulta numa boa aproximação da variação dos momentos unitários ao longo do elementos.

O cálculo destes momentos globais, têm o propósito de ultrapassar dificuldades associadas à afetação dos esforços de flexão devido aos momentos flectores de pico nos nós dos pilares. Assim, o equilíbrio é garantido com recurso à função discreta do MEF, pelo que este momento global têm contribuição de todos os nós da faixa do pórtico equivalente num nó do alinhamento dos pilares em causa.

Posto isto, é necessário definir uma estratégia que permita a partir dos momentos globais de cada nó dos vários alinhamentos de pilares na laje, obter os momentos de dimensionamento. Assim é necessário repartir em percentagens o momento global do nó da faixa do pórtico equivalente, para as faixa dos pilares e faixa central obtendo uma nova envolvente de esforços que garante o equilíbrio.

Para ultrapassar a dificuldade de quantificação destas percentagens, o EC2 propõe intervalos de percentagens para distribuir os momentos flectores na faixa dos pilares e nas faixas centrais.

No caso dos momentos negativos para a faixa dos pilares, em adição é feita a distribuição proposta para as quantidade de armadura total aplicada ao momento global negativo, por corresponder a uma aproximação da distribuição dos momentos negativos ao longo da faixa do pórtico na zona dos pilares. Cada parcela do momento global correspondente a uma dada percentagem, que deve ser divida pela largura da faixa à qual se destina, para obter os momentos unitários.

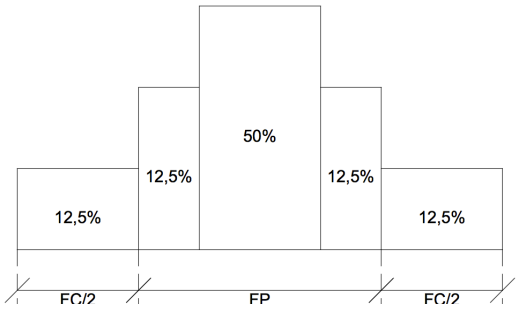


Figura 4.5 - Representação da distribuição dos Momentos Negativos

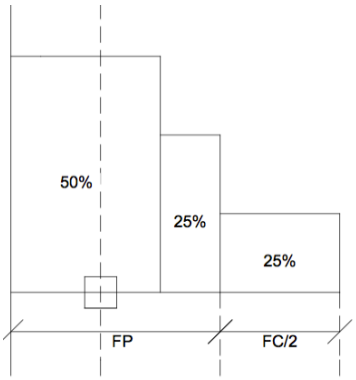


Figura 4.6 - Representação da distribuição negativos na zona dos pilares de canto ou bordo

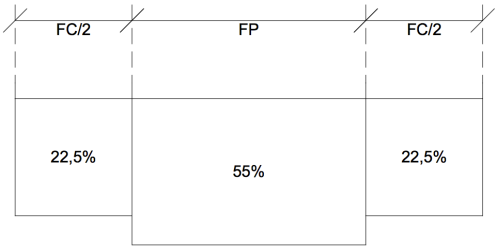


Figura 4.7 - Representação da distribuição dos Momentos Positivos

No caso dos alinhamentos extremos, constituídos por de pilares de bordo e de canto, o EC2 não propõe uma distribuição de momentos flectores, pelo que nestas situações, a distribuição a implementar depende do comprimento do vão da consola. Portanto, optou-se por prolongar a faixa dos 50%, quando o comprimento da consola não permite introduzir a faixa de 12,5% à esquerda na sua largura, aumentando a percentagem da faixa de 12,5% à direita para 25% e a percentagem da faixa central para 25%.

A divisão do momento global em faixas dos pilares e faixas centrais, têm interesse para o estudo da redistribuição nas lajes fungiformes e consequentemente para o dimensionamento das armaduras. Dada a magnitude dos momentos flectores na faixa dos pilares em comparação à faixa central, a redistribuição a implementar pode apenas ser introduzida de duas formas, globalmente ao pórtico equivalente ou apenas na faixa dos pilares. O cálculo das quantidade de aço resultantes da distribuição dos momentos pelas diferentes faixas, é feita com base nas “Tabelas e Ábacos de Dimensionamento de Secções de Betão Solicitadas à Flexão e a Esforços Axiais, Segundo o Eurocódigo 2”.

Esta metodologia não deverá ser aplicada aos pilares extremos de um dado pórtico equivalente, tanto sejam pilares de bordo como de canto, pelo que a capacidade de transferência de esforços é mais limitada em relação aos pilares interiores. Para resolver estas situações é necessário calcular o momento resistente nesses pilares extremos de acordo com o EC2, que indica o momento resistente máximo a considera e a disposição de armaduras.

4.3. REDISTRIBUIÇÃO

A análise linear com redistribuição consiste em incorporar alterações na envolvente de esforços atuantes, respeitando as condições de equilíbrio e as regras de ductilidade. Esta redistribuição é definida por um coeficiente que reduz os momentos negativos na laje fungiformes, e aumenta os momentos positivos.

O coeficiente de redistribuição depende da profundidade do eixo neutro em Estado Limite último em relação à altura útil, para determinar se a capacidade de rotação das secções fletidas é suficiente para ocorrer a redistribuição de esforços. No caso das lajes fungiformes, estas são dotadas de grande capacidade de redistribuição de esforços, o que torna a quantificação do coeficiente complexa, em que a sua escolha depende do projetista.

Em projeto, pelo trabalho Silva, Vitor Hugo Moreira Pinto da(2013) a redução dos momentos negativos nas lajes fungiformes calculadas com recurso ao métodos dos elementos finitos é cerca de 30%. Neste tipo de estrutura, são normais níveis de redistribuição de 10%, 20% ou até mesmo 30%, no entanto para níveis de redistribuição elevados é preciso ter em atenção o efeito fendilhação. Como existe pouca informação acerca deste assunto, por ser uma decisão do projetista, o coeficiente de redução sugerido nesta tese, será de cerca de 10%.

Anteriormente foi referido que a redistribuição nas lajes fungiformes pode ser aplicada em toda a faixa do pórtico equivalente, ou apenas na faixa dos pilares. Seguem-se dois esquemas com as duas situações:

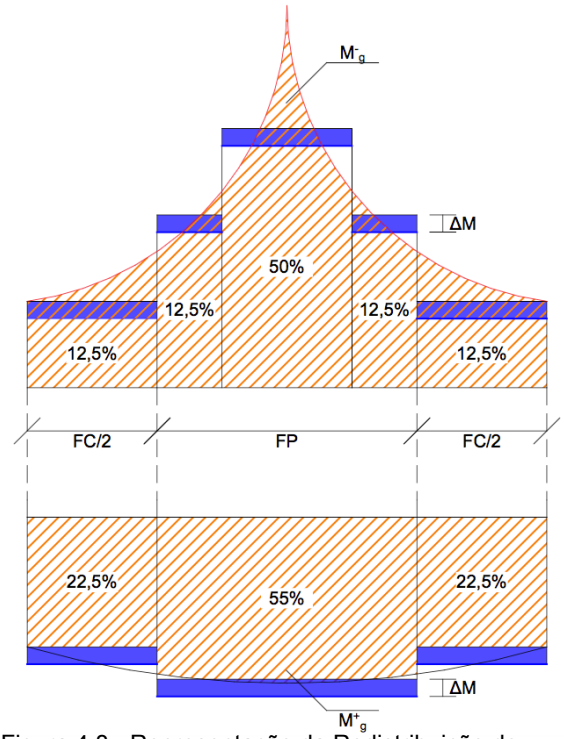


Figura 4.8 - Representação da Redistribuição do Momento Global

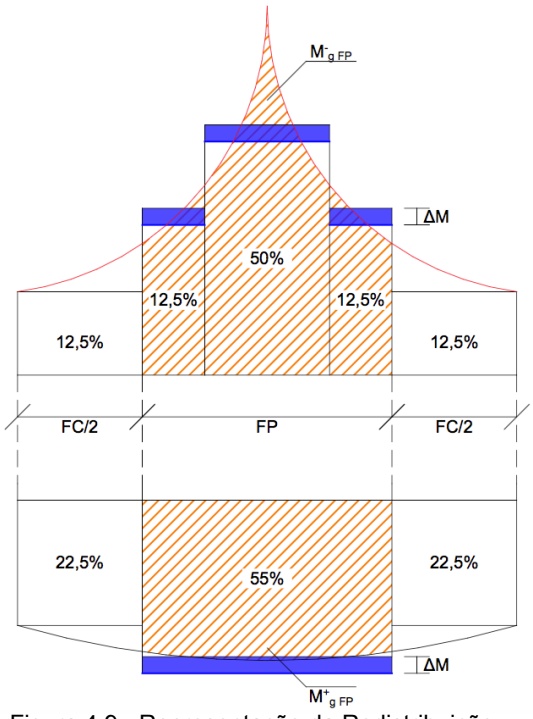


Figura 4.9 - Representação da Redistribuição apenas na Faixa dos Pilares

.

Surgem duas alternativas de redistribuição no pórtico equivalente, devido à grandeza dos momentos flectores na faixa dos pilares ser muito superior à das faixas centrais, sendo nesta zona onde ocorre uma fendilhação mais severa que implica uma redistribuição de esforços mais acentuada. Em comparação com a intensidade dos esforços nas faixas centrais, sendo muito menor que a da faixa dos pilares, pode não ser vantajoso aplicar uma redistribuição.

A diferença entre as duas forma de redistribuição reside na quantidade de momento negativo a redistribuir por todas as faixas. No caso da figura 4.8 a redistribuição é aplicada ao momento global em cada nó do alinhamento e só depois é feita a distribuição dos momentos ao longo da faixa do pórtico. Se a redistribuição for aplicada apenas na faixa dos pilares, a redução dos momentos negativos é feita para 75% dos momentos negativos da faixa, enquanto nos momentos positivos, que correspondem a 55% dos momentos positivos da faixa, o aumento corresponde à quantidade de redistribuição 75% dos momentos do pilar.

Uma vez que, pela figura 3.22, é possível verificar que nas faixas centrais os momentos flectores negativos máximos são da mesma ordem de grandeza dos momentos flectores positivos máximos, em que a fendilhação praticamente não têm a mesma importância como na faixa dos pilares. Assim a redistribuição global pode implicar um aumento excessivo dos momentos positivos em relação aos negativos, pelo que a maior redistribuição de esforços acontece ao longo da faixa dos pilares.

Para não complicar o processo de redistribuição, que depende de vários factores, como o número de vãos e a sua grandeza, para simplificar e na óptica do projeto, optou-se por não considerar nunca os pilares de bordo ou de canto num dado alinhamento para a redistribuição, e esta deve ser feita nos vãos isoladamente. Isto é, nos vãos extremos interiores o momento negativo do pilar que não é de bordo ou canto é redistribuído e no caso de vãos intermédios, é feita a média das redistribuição em cada pilar, simplificando a obtenção dos diagramas de momentos para dimensionamento.

No entanto, ambas as formas a aplicar a redistribuição no pórtico equivalente estão correctas, devendo ser feito o estudo da redistribuição das lajes fungiformes pelas duas alternativas. A escolha da alternativa para o dimensionamento, depende da decisão projetista, no intuito de obter uma solução optimizada e uniforme.

4.4. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS MODELO DE ESTUDO

Para estudar a metodologia definida e as duas alternativas de redistribuição que esta dispõe, será feita uma análise sobre os resultados obtidos para as várias faixas com recurso ao Modelo de Estudo. A nomenclatura usada é igual à exposta ao longo do capítulo 3.5.4, de acordo com a figura 3.23. Para obter os valores que serão expostos, foi necessário finalizar o desenvolvimento da ferramenta de cálculo auxiliar que integra a metodologia.

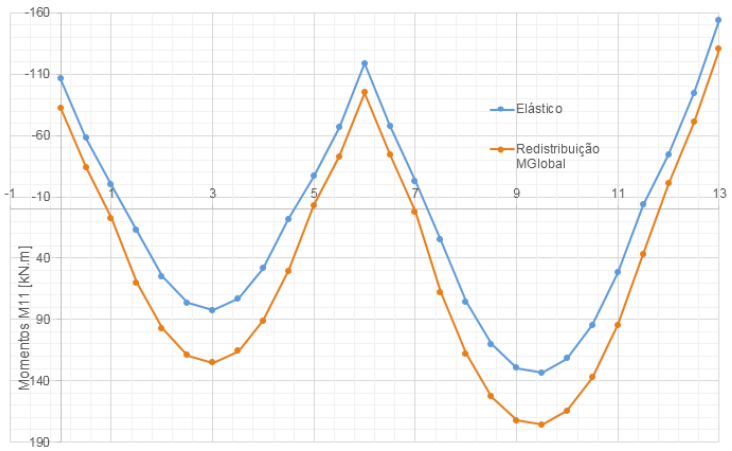


Figura 4.10 - Momentos Globais M11 para as faixas centrais no pórtico y=6

Quadro 4.1 - Variação de ΔM para as faixa centrais ao longo do pórtico y=6 e a percentagem de redução respetiva

Coordenadas		Faixas Centrais			
X	Y	Mg [kN.m]	Redistribuição Global [kN.m]	ΔM[kN.m]	%
0	6	-106,18	-82,47	24	22,3%
0,5		-57,87	-34,16	24	41,0%
1		-19,68	7,25	27	73,1%
1,5		17,51	60,19	43	70,9%
2		54,78	97,46	43	43,8%
3		82,61	125,29	43	34,1%
4		48,46	91,14	43	46,8%
5		-26,61	-2,90	24	89,1%
5,5		-66,46	-42,75	24	35,7%
6		-118,55	-94,84	24	20,0%
6,5		-67,91	-44,20	24	34,9%
7		-22,57	2,06	25	91,6%
7,5		25,28	67,96	43	62,8%
8		75,55	118,23	43	36,1%
9		129,55	172,23	43	24,8%
10		121,80	164,48	43	25,9%
11		52,14	94,82	43	45,0%
11,5		-3,37	36,62	40	91,6%
12		-44,44	-20,73	24	53,4%
12,5		-94,31	-70,60	24	25,1%
13		-154,01	-130,30	24	15,4%

Como anteriormente foi referido, pretende-se estudar a diferença entre aplicar a redistribuição globalmente ou apenas na faixa dos pilares. Quando é aplicada uma redistribuição globalmente, a variação de momento é distribuída pelas faixas do pórtico equivalente, de acordo com as percentagens estabelecidas pelo EC2. Estas percentagens são desenvolvidas para a distribuição dos esforços em análise elástica no método dos pórticos equivalentes, podendo não ter em consideração qualquer estratégia de redistribuição nas lajes fungiformes.

Dado que, a percentagem de 75% do momentos negativos da faixa dos pilares determina a quantidade de momento a redistribuir, grande parte da redistribuição a aplicar nas faixas centrais é devido à concentração de esforços na faixa dos pilares. Devido à percentagem de 45% dos momentos positivos para as faixas centrais, é nos momentos positivos que irá ocorrer um aumento significativo e variável, que depende da grandeza do momento positivo na faixa do pórtico equivalente. A figura 4.5, ilustra as alterações dos momentos ao longo do alinhamento, no qual para x=6 a redução manteve-se nos 20%. Esta percentagem de redução é dada pela seguinte expressão:

$$\%=\frac{\Delta M}{\text{máx}[Mg;Mgredistribuido]} \tag{4.1}$$

Pelo Quadro 4.1, verifica-se que a maior redistribuição acontece na zona dos momentos positivos, em que a variação do momento aumenta perto do dobro da redução no momento de pico em y=6, por ser nesta zona que o momento positivo é mais elevado.

Outro aspeto a analisar é o efeito de ambas as alternativas de redistribuição, na faixa do pilar de um dado pórtico equivalente. Como se conclui para as faixas centrais numa redistribuição global, em que a variação de ΔM é mais presente na zona de momentos positivos ou na transição, numa redistribuição apenas na faixa dos pilares a maior diferença possivelmente será também nessas zonas.

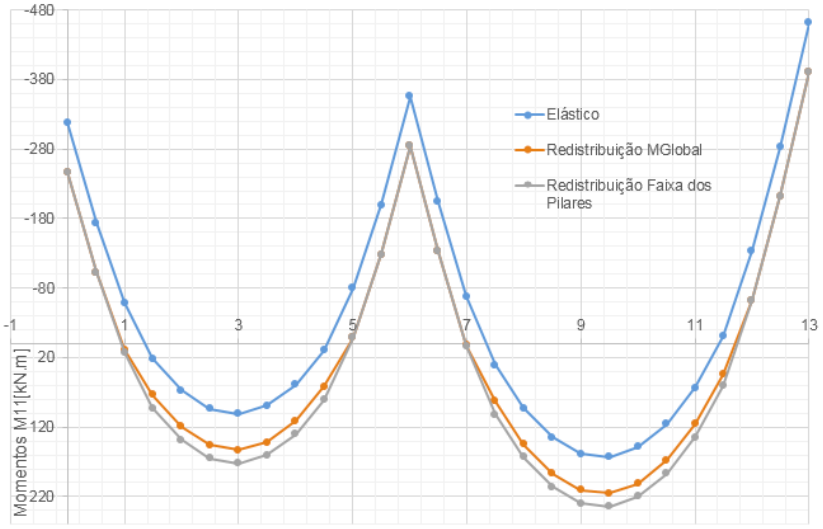


Figura 4.11 - Momentos M11 para a faixa dos pilares no pórtico y=6

Quadro 4.2 - Variação de ΔM para a faixa dos pilares ao longo do pórtico y=6 e a percentagem de redução respetiva

Coordenadas		Faixas Dos Pilares						
X	Y	Mg [kN.m]	Redistribuição Global [kN.m]	ΔM[kN.m]	%	Redistribuição FP [kN.m]	ΔM[kN.m]	%
0	6	-318,54	-247,40	71	22,3%	-247,40	71	22,3%
0,5		-173,61	-102,48	71	41,0%	-102,48		41,0%
1		-59,04	8,87	68	86,9%	12,09		83,0%
1,5		21,40	73,56	52	70,9%	92,53		76,9%
2		66,95	119,11	52	43,8%	138,08		51,5%
3		100,96	153,13	52	34,1%	172,10		41,3%
4		59,23	111,39	52	46,8%	130,36		54,6%
5		-79,84	-8,71	71	89,1%	-8,71		89,1%
5,5		-199,37	-128,24	71	35,7%	-128,24		35,7%
6		-355,66	-284,53	71	20,0%	-284,53		20,0%
6,5		-203,73	-132,60	71	34,9%	-132,60		34,9%
7		-67,70	2,51	70	96,4%	3,43		95,2%
7,5		30,89	83,06	52	62,8%	102,03		69,7%
8		92,34	144,50	52	36,1%	163,47		43,5%
9		158,34	210,51	52	24,8%	229,47		31,0%
10		148,86	201,03	52	25,9%	219,99		32,3%
11		63,73	115,89	52	45,0%	134,86		52,7%
11,5		-10,10	44,76	55	81,6%	61,03		85,8%
12		-133,31	-62,18	71	53,4%	-62,18		53,4%
12,5		-282,94	-211,81	71	25,1%	-211,81		25,1%
13		-462,02	-390,89	71	15,4%	-390,89		15,4%

A partir da figura 4.6 conjuntamente com o quadro 4.2, na zona de momentos negativos os valores de redistribuição das duas alternativas são os mesmo, devido à distribuição do momento redistribuído nesta zona ser aplicada à mesma distribuição de momento inicial elástico. No caso dos momentos positivos, é nesta zona que o aumento dos momentos flectores positivos é mais relevante.

Aplicando a redistribuição apenas na faixa dos pilares, corresponde em redistribuir 75% do momentos negativo de pico na faixa do pórtico e aumentar em 55% dos momentos positivos da mesma. Assim, os momentos positivos serão mais elevados que no caso da redistribuição do momento global da faixa, em que parte era redistribuída às faixas centrais.

Quanto à variação de momento, esta será constante ao longo do alinhamento, devido à redistribuição ser apenas aplicada à faixa dos pilares, em que a quantidade de ΔM não depende da magnitude do momento positivo de toda a faixa. O aumento dos momentos positivos na faixa dos pilares de acordo com esta alternativa de redistribuição, é mais elevado em comparação com o que acontece no caso da faixa dos pilares quando se opta pela redistribuição do momento global da faixa

Falta apenas, verificar o que acontece aos momentos flectores ao longo de uma dada faixa de pórtico equivalente, para perceber o impacto das duas formas de redistribuição após a aplicação da distribuição simplificada dos momentos.

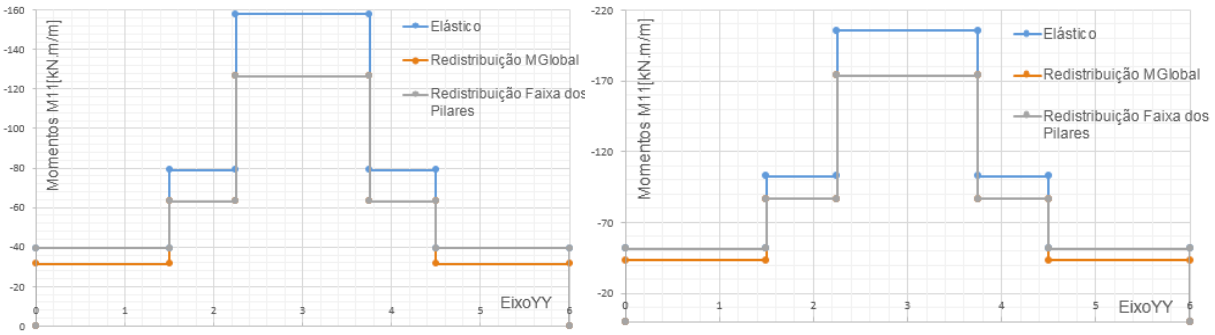


Figura 4.12 - Distribuição dos Momentos Negativos M11 no pórtico y=6 sobre os pilares a)P2, b)P3

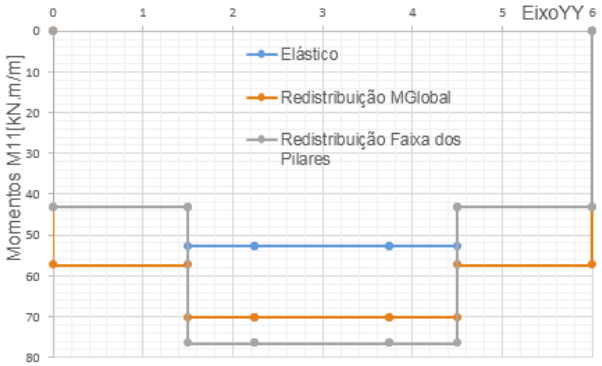


Figura 4.13 - Distribuição dos Momentos Positivos M11 do pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3

O valores representados nos diagramas, correspondem a momentos unitário que são usados no dimensionamento das armaduras a dispor nas várias faixas. Mais uma vez, é nítido o impacto da redistribuição escolhida, que se verifica para a análise de momentos ao longo do alinhamento. Com os momentos de dimensionamento é possível constatar que ao optar-se por redistribuir o momento global, no caso dos momentos positivos, o aumento nas faixas centrais é bastante elevado para esta zona comparativamente ao aumento verificado na redistribuição da faixa do pilar.

A faixa dos pilares de um dado pórtico equivalente, é a zona com maior concentração de esforços e consequentemente irá sofrer uma fendilhação mais severa em comparação com as faixas centrais. Assim, a redistribuição de esforços devido à alteração da rigidez, acontece essencialmente na faixa dos pilares devido à sua rigidez ser superior. Outro aspeto que deve ser tido em conta, na escolha da alternativa de redistribuição, diz respeito às percentagens de redistribuição utilizadas apenas para um cálculo elástico com recurso aos pórticos equivalente, sendo que na redistribuição global, como já foi várias vezes referido, há um acréscimo de momento nas zonas de momentos positivos nas faixas centrais.

4.5. ARMADURAS

Falta apenas avaliar o impacto que a escolha do tipo de redistribuição, na análise elástica das lajes fungiformes, têm nas quantidade de armaduras necessárias a colocar na laje. Em geral, o recurso à análise elástica com redistribuição é importante na medida em que é possível obter solução de armaduras mais uniforme, optimizada e possivelmente mais económica. Assim, para melhor avaliar a forma como se aplica a redistribuição no pórtico equivalente, é necessário analisar as quantidades de armaduras que dai resultam. A nomenclatura usada é igual à exposta ao longo do capítulo 4.4, de acordo com a figura 3.23, aplicada agora às quantidade de armadura obtidas.

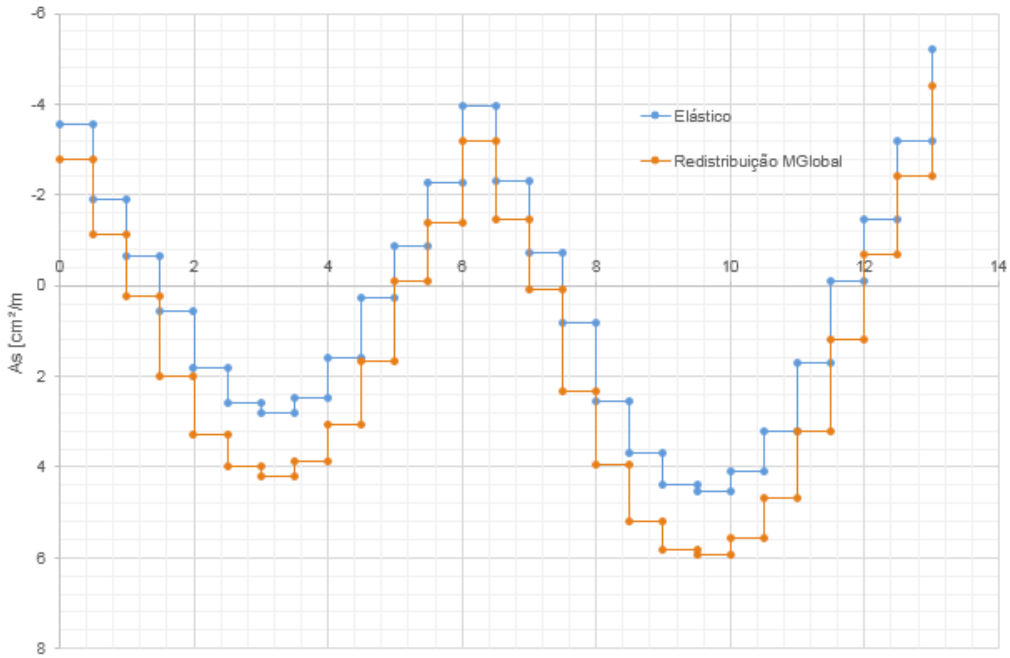


Figura 4.14 - Quantidade de As para as faixa centrais no pórtico y=6

Como já era de prever anteriormente, a redistribuição do momento global implica uma quantidade de armadura inferior muito elevada em comparação com a armadura superior necessária a colocar. Se nas faixas centrais não for aplicada a redistribuição, a solução obtida será mais uniforme visto que em 3 zonas do pórtico a armadura máxima a colocar é cerca de 4 cm²/m.

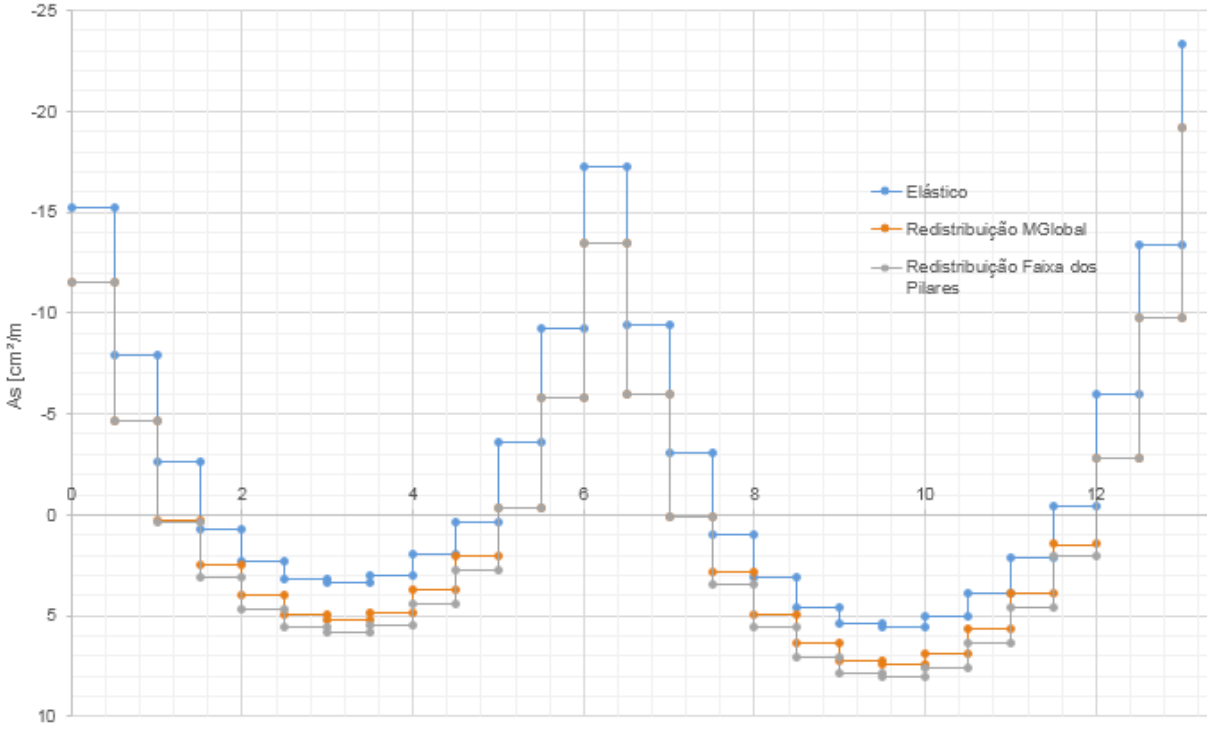
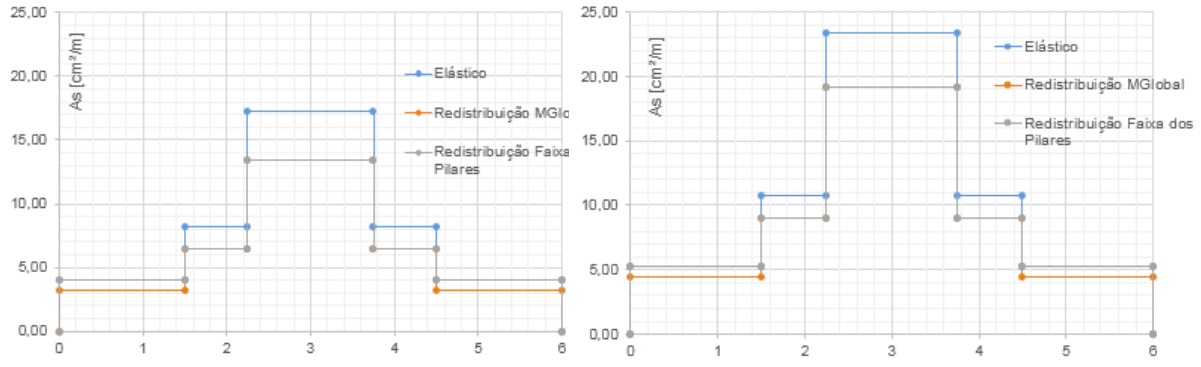


Figura 4.15- Quantidade de As para a faixas dos pilares no pórtico y=6

Na faixa do pilar, optando pela redistribuição do momento global, a quantidade de armadura inferior continua a ser muito inferior à que deve ser colocada na face superior da laje. Como nesta faixa concentram-se maior parte dos esforços, independentemente da alternativa de redistribuição aplicada, uniformizar a armadura não é possível devido à diferença de magnitude do momento nos pilares face aos meios vãos.



a) b)

Figura 4.16 - Quantidade de As Superior no pórtico y=6 sobre os pilares a)P2, b)P3

.

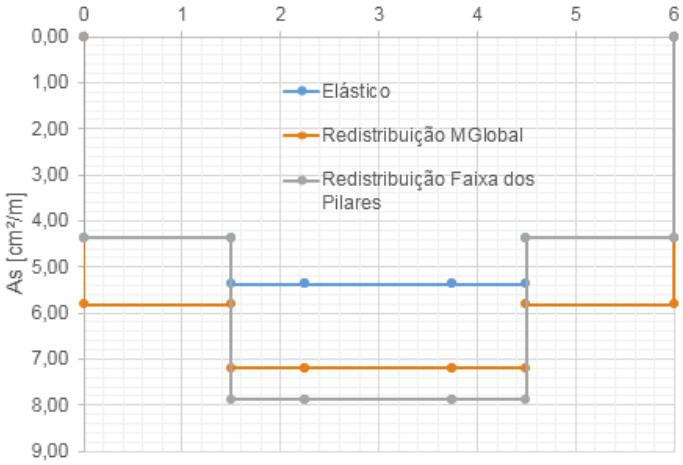


Figura 4.17 - Quantidade de As Inferior no pórtico y=6 no vão entre os pilares P2 e P3

Como anteriormente já foi referido, a grande diferença entre as duas formas de proceder à redistribuição acontece na zona de momentos positivos. Assim, considerando a redistribuição apenas na faixa dos pilares, nessa mesma faixa há um ligeiro acréscimo de armadura a colocar ao longo da face inferior da laje em comparação com a redistribuição do momento global.

Este estudo foi feito apenas para a divisão das faixas proposta pelo EC2, a qual pode não ser utilizada pelo projetista. No caso de considerar uma divisão de faixas que resulta em faixas centrais mais largas, implicando um aumento da percentagem de momentos a atribuir às mesma, a redistribuição na faixa dos pilares deixa de fazer sentido. Assim na ferramenta de cálculo, é dado ao utilizador a escolha da redistribuição que se quer aplicar e qual a divisão de faixas para permitir uma fácil adaptação da metodologia à redistribuição que se pretendia. O cálculo das quantidade de armadura a introduzir na laje foi deito com recurso às Tabelas e Ábacos de Barros, Helena. , Figueiras, Joaquim A. (2012).

5
APLICAÇÃO DE CÁLCULO

5.1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo para auxiliar aos programas de cálculo correntes, ajuda a sistematizar todo o processo de dimensionamento das armaduras, introduzindo assim as considerações e regras que o projetista considera relevantes no dimensionamento das armaduras. No contexto do projecto, esta ferramenta será desenvolvida em linguagem Visual Basic, pelo que está presente em todos os gabinetes e por trabalhar ao mesmo tempo com as folhas de cálculo em Excel, tornando todo o processo mais detalhado e de fácil compreensão.

A principal vantagem da utilização desta linguagem, prende-se com a possibilidade de exportar toda a informação dos modelos numéricos do SAP2000 em folhas Excel, o que ajuda a interligar o SAP2000 com a ferramenta auxiliar. Esta linguagem têm algumas limitações, que quando aplicados ao MEF devido à quantidade de informação exportada para o Excel, torna a folha de cálculo pesada, que obrigou a reformulação do algoritmo de forma a tornar a sua utilização mais eficiente. Neste capítulo são expostos alguns pormenores a alterar no modelo do SAP2000, operações feitas no programa que devem ser salientadas e a exposição dos valores que o programa cria.

5.2. DESCRIÇÃO DAS ALTERAÇÕES NO MODELO DO SAP2000

Para facilitar a identificação dos nós principais que são os pilares, a designação destes deve ser alterada para “P12”, em que os dois algarismo representam os alinhamentos que intersectam esse pilar. Assim, o primeiro algarismo indica o alinhamento na direção XX e o segundo o alinhamento na direção YY, sendo que a numeração dos pilares começa da coordenada inferior para a superior em ambas as direções.

Quanto à exportação das tabelas, deve ser feita uma filtragem no SAP2000 para eliminar todos os elementos que não pertencem à cota da laje fungiforme a dimensionar. Isto deverá ser feito tanto para o modelo global, como para o modelo parcial.

Na modelação, caso se opte pelo modelo parcial, os pilares, paredes e núcleos devem ser prolongados até às cotas do piso inferior e superior da laje fungiforme, que corresponde a uma melhor aproximação do comportamento das ligações do sistema de apoio com a laje de um piso intermédio.

5.3. Descrição da informação a exportar do SAP2000

Seguem-se quais as tabelas a exportar do SAP2000:

- Model Definition;
    - Proprety Definitions;
        - Frame Section Properties - Table: Frame Section Properties 01-General;
        - Area Section Properties- Table: Area Section Properties;
        - Frame Assignments;
            - Frame Item Assignments - Table: Frame Section Assignments;
        - Area Assignments;
            - Area Assignments - Table: Area Section Assignments;
- Analysis Results:
    - Element Output;
        - Area Output - Tabel: Element Forces - Area Shells
        - Objects and Elements;
            - Table:Objects and Elements - Joints;
            - Table: Objects and Elements - Areas.

5.4. Descrição da aplicação de cálculo

No SAP2000 existe a possibilidade de exportar os esforços em função dos elementos ou em função dos nós. Exportando os esforços em relação aos elementos, os esforços de flexão para cada um dos nós desse elemento são expressos em momentos flectores unitários, se optar pelos esforços em relação aos nós, os momentos flectores são pontuais.

Aqui surge uma dificuldade, na medida em que cada elemento fornece esforços nos quatro nós que lhe pertencem, mas cada um desses nós pode ser compartilhado por outro elemento ou por quatro elementos ao mesmo tempo. Isto implica que, a partir dos elementos que contém esse nó, podem resultar até quatro valores diferentes em cada nó. Apresentam-se na figura duas imagens de um pilar de canto em que é perceptível este efeito:

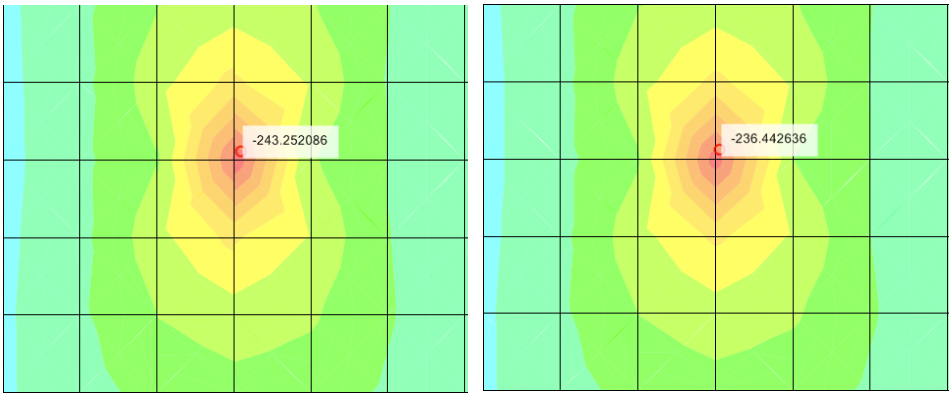


Figura 5.1 - Representação dos momentos M11[kN.m/m], a) antes Medianização b) após Medianização

O SAP2000 permite visualizar os momentos médios dos nós, mas na exportação da informação para excel, não é possível obter esses valores médios. Para tal, foi necessário integrar na aplicação de cálculo, um algoritmo que procura os vários valores existentes num dado nó e calcula a média desses valores no nó.

Na metodologia, para obter o momento global é necessário integrar os vários momentos unitários dos nós que constituem a faixa do pórtico na posição nó do alinhamento. Como os valores obtidos do SAP2000 constituem uma função discreta, é necessário utilizar um método de integração aproximado. Portanto, foi utilizada a regra dos trapézios, sendo aceitável a linearização entre os dois pontos, em comparação com a forma real do diagrama de momentos flectores.

A dimensão da malha a introduzir em toda a laje fungiforme, normalmente é obtida a partir da divisão dos vários painéis da laje em partes iguais. Este procedimento pode implicar uma distribuição de nós pelo painel que não seja compatível com as coordenadas dos extremos da faixa do pórtico equivalente. Desta forma, no processo de integração dos momentos da faixa, a soma das distâncias entre cada nó pode ser inferior à largura da faixa do pórtico, ou seja, a malha escolhida pode não permitir a existência de nós coincidentes com os limites da faixa.

Para resolver este problema, foi implementado um processo muito simplificado, que consiste em determinar a distância entre o limite da faixa e o nó mais próximo desse limite. Se esta diferença estiver entre 0,55m e 0,1m, é acrescentado ao momento global a integração do momento flector constante desse nó próximo até ao limite.

Esta aplicação cria várias folhas adicionais de cálculo :

- "Elementos" serve para reduzir o esforço do programa em procurar os esforços na folha "Element Forces - Area Shells";
- "Nós" contém as médias dos nós nos momentos M11, M22 e M12 com as correspondentes coordenadas;
- As folhas "XX" e "YY" são uma cópia das médias dos momentos da folha Nós e organização das linhas para reduzir o esforço do algoritmo;
- Nas folhas "PórticosXX" e "PórticosYY" são expostos os nós que constituem os vários alinhamentos, as correspondentes coordenadas, a largura da faixa total com as coordenadas dos seus extremos e finalmente todos os momentos unitários que entram na integração na faixa do pórtico em cada nó do alinhamento
- Finalmente "ArmadurasXX" e "ArmadurasYY", onde se efectua a redistribuição de momentos, redistribuição global ou apenas na faixa dos pilares, e o cálculo das respetivas armaduras.

5.5. Procedimento da aplicação de cálculo

A aplicação de cálculo está divida em duas partes, uma para a direção XX e outra para a direção YY. Para integrar estas duas partes no workbook do SAP2000, deve-se criar dois "Modules", para os quais é copiada cada parte respetivamente. O código das duas partes da ferramenta auxiliar está no Anexo D.

Durante o desenvolvimento da ferramenta auxiliar, decidiu-se que a melhor forma para o utilizador introduzir a divisão de faixas e as respetivas larguras que pretende em cada alinhamento, é em forma de um quadro no excel. Este quadro deverá ser inserido na folha de cálculo "Programa Control" que é exportada do SAP2000.

No que respeita à numeração dos alinhamentos, considera-se o primeiro alinhamento o que tiver a coordenada na direção perpendicular menor. Isto é, nos alinhamentos segundo x, o primeiro alinhamento corresponde à menor coordenada y de todos os alinhamentos, no caso dos alinhamentos segundo y, o primeiro alinhamento corresponde à menor coordenada x de todos os alinhamentos.

Segue-se o quadro que deve ser inserido e a sua posição na folha de cálculo:

Quadro 5.1 - Composição e Forma do Quadro a preencher

x							y						
Alinhamento	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Alinhamento	a1	a2	a3	a4	a5	a6
1,000	1,500	0,750	0,750	0,750	0,750	1,000	1,000	1,000	0,750	0,750	0,750	0,750	1,000
2,000	1,500	0,750	0,750	0,750	0,750	1,500	2,000	1,500	0,750	0,750	0,875	0,875	1,750
3,000	1	0,75	0,75	0,75	0,75	1,5	3,000	1,750	0,875	0,875	0,750	0,750	1,500

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	**TABLE: Program Control**														
2	**ProgramName**	**Version**	**ProgLeve**	**LicenseNum**	**LicenseOS**	**LicenseSC**	**LicenseHT**	**CurrUnits**	**SteelCode**	**ConcCode**	**AlumCode**	**ColdCode**	**RegenHinge**		
3	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text	Text		
4	SAP2000	17.1.1	Ultimate		Yes	Yes	No	KN, m, C	AISC 360-10	ACI 318-11	AA-ASD 2000	AISI-ASD96	Yes		
5															
6		x							y						
7		Alinhamento	a1	a2	a3	a4	a5	a6	Alinhamento	a1	a2	a3	a4	a5	a6
8		1,000	1,500	0,750	0,750	0,750	0,750	1,000	1,000	1,000	0,750	0,750	0,750	0,750	1,000
9		2,000	1,500	0,750	0,750	0,750	0,750	1,500	2,000	1,500	0,750	0,750	0,875	0,875	1,750
10		3,000	1	0,75	0,75	0,75	0,75	1,5	3,000	1,750	0,875	0,875	0,750	0,750	1,500
11															

Figura 5.2 - Enquadramento do Quadro 5.1 na folha de cálculo “Program Control”

O quadro 5.1 a inserir na folha de cálculo, deverá começar na célula B6 e terminar na célula O6 obrigatoriamente. Caso a laje fungiforme tenha mais do que os 3 alinhamentos representados, apenas é necessário inserir os restantes alinhamentos e correspondente divisão de faixas. Seguem-se dois esquemas, com a convenção adoptada para a orientação das várias larguras em função da direção.

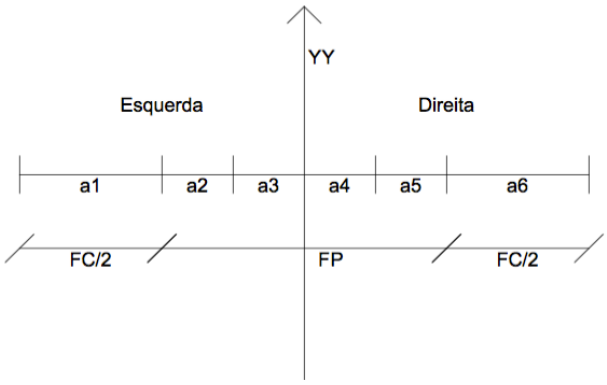


Figura 5.3 - Convenção da Orientação das larguras na direção YY

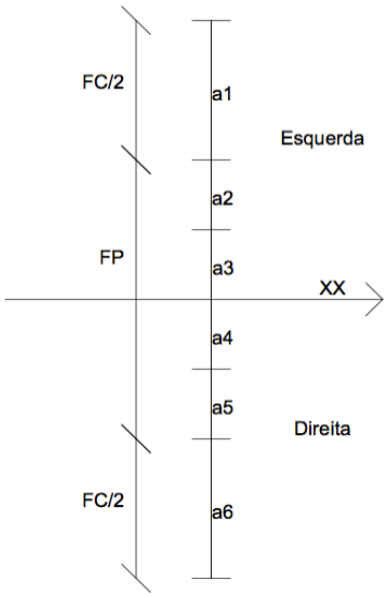


Figura 5.4- Convenção da Orientação das larguras na direção XX

.

Antes de iniciar a aplicação deverá ser verificado na folha de cálculo “Objects and Elements - Joints”, se apenas constam os nós com a coordenada z do piso a calcular. Caso existam outros nós com uma cota z diferente da laje que se pretende dimensionar, é necessário apagar as respetivas linhas.

Para iniciar a aplicação, deverá começar por correr o “Module” que integra a direção XX e depois aplica o segundo Module. Quando a aplicação inicia o cálculo das quantidade de armaduras, o utilizador têm de introduzir o recobrimento, diâmetro do varão e a classe do aço. Caso pretenda introduzir a diferença de cotas entre armaduras de ambas as direções numa face superior ou inferior, na direção que pretenda reduzir a altura útil, deverá acrescentar essa redução ao recobrimento. Finalmente, o utilizador é questionado acerca do tipo de redistribuição que pretende integrar no cálculo e qual o coeficiente de redistribuição a utilizar.

Se iniciar novamente as duas partes da aplicação, desta vez será questionado se pretende iniciar o programa todo, ou apenas a parte do cálculo das armaduras, pelo que é onde o utilizador têm maior flexibilidade em escolher as características geométricas da armadura e sua disposição na laje, assim como na redistribuição a integrar no cálculo.

Falta indicar que não deverá apagar ou mover de posição qualquer folha de cálculo, pelo que quando o programa iniciar, começa por apagar todas as folhas de cálculo que foram adicionadas, começando pela última que foi adicionada.. Se pretender introduzir folhas de cálculo, têm obrigatoriamente de ser antes da folha “Program Control”.

.

6
CASO DE ESTUDO

6.1. INTRODUÇÃO

A existência de ferramentas eficazes em projeto torna o processo de dimensionamento mais rápido e eficaz, pelo que permite uma sistematização de todo o processo. Estas ferramentas, tanto podem ser desenvolvidas para serem utilizadas no dimensionamento final da estrutura, como para obter valores de base que auxiliam todo o processo de dimensionamento.

Neste capítulo, pretende-se aplicar a um caso de estudo a metodologia de análise proposta, para demonstrar as suas potencialidades num caso real de projeto. A metodologia e a ferramenta de cálculo desenvolvida, têm o propósito de permitir o dimensionamento da maior parte das armaduras de flexão nas lajes fungiformes, para cumprir o Estado Limite Último. Além disto, esta aplicação permite obter uma percepção do panorama geral dos esforços ao longo da laje e as quantidade de armadura necessárias, que auxilia o processo de dimensionamento e a decisão sobre a solução final de armaduras

6.2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O edifício em estudo é um bloco de um centro hospitalar a construir na zona litoral norte do país, constituído por 5 níveis acima do solo destinados à utilização como unidade hospitalar. Todos os pisos têm um pé-direito de 4m, sendo a cota 0 deste edifício no terceiro nível, visto que se encontra referenciada ao edifício já existente. Os pavimentos são constituídos por lajes fungiformes maciças com 0,3m de espessura, apoiadas em pilares e paredes. Este bloco apresenta uma geometria em planta bastante regular, com alguma alternância entre vãos em apenas uma das direções. Apresentam-se duas figuras com o bloco hospitalar a estudar e a sua geometria em planta



Figura 6.1 - Bloco do centro hospitalar a estudar

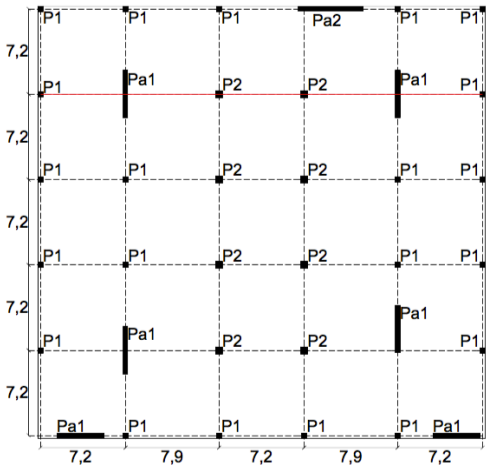


Figura 6.2 - Geometria do Piso

6.2.1. Características geométricas e materiais

Os materiais utilizados são o betão C30/37 e o aço S500 em todos os elementos estruturais. O recobrimento a utilizar nas armaduras deverá ser de 3,5cm de acordo com as classes de exposição do EC2. Apresentam-se as características geométricas dos pilares e paredes:

Quadro 6.1 - Geometria dos pilares e paredes

Elementos Estruturais	Referência	Seção(m²)
Pilares	P1	0,45x0,45
	P2	0,6x0,6
Paredes	Pa1	4,00x0,4
	Pa2	5,50x0,4

6.2.2. Ações verticais

As Recomendações e Especificações Técnicas do Edifício Hospitalar apresentam vários valores para a sobrecarga a considerar nos edifícios hospitalares nas suas diversas áreas. Não é fornecido qualquer informação acerca da diferenciação das áreas ao longo deste pavimento, por isso considerou-se uma sobrecarga geral igual em todos os pisos, apesar de eventualmente existirem algumas áreas em que devido a equipamentos específicos, os valores de sobrecarga são muito superior à da sobrecarga geral. Seguem-se os valores das acções verticais a considerar:

Quadro 6.2 - Ações Verticais Consideradas e respetivo Valor de Cálculo ped

Ação	Descrição	Valor(kN/m²)	Coeficiente γ	ped(kN/m²)
Permanente	Peso Próprio	7,5	1,35	21,675
	Paredes Divisórias	2		
	Revestimentos	1		
Sobrecarga	Sobrecarga de utilização	5	1,5	

6.2.3. Modelo SAP2000

Com o reconhecimento das características materiais e geométricas do edifício e as acções verticais a considerar, é possível começar a modelação das lajes fungiformes. Na modelação, como indicado no capítulo 5, pode-se optar por criar um modelo parcial representativo de um piso ou modelo global de todo o edifício, sendo que neste caso, optou-se por criar um modelo parcial do piso em estudo.

A escolha da malha de elementos finitos, foi feita com base na divisão dos vãos em partes iguais, tendo em conta a alternância de vãos, os limites do piso e a posição das paredes. Globalmente o elemento finito da malha têm uma dimensão de cerca de 0,5m nas duas direções, umas zonas com elementos mais regulares que outras, sendo que cada painel contêm uma divisão de 15x15 elementos.

Os pilares são modelados como elementos de barra, atribuindo a secção correspondente à sua posição em planta. A laje e as paredes são representadas por elementos de casca, em que para as paredes é criada uma malha com a mesma grandeza de dimensões que seja compatível com a malha da laje. Apresentam-se duas figuras na página seguinte, com as envolventes de momentos correspondentes às direções x e y respetivamente em M11 e M22:

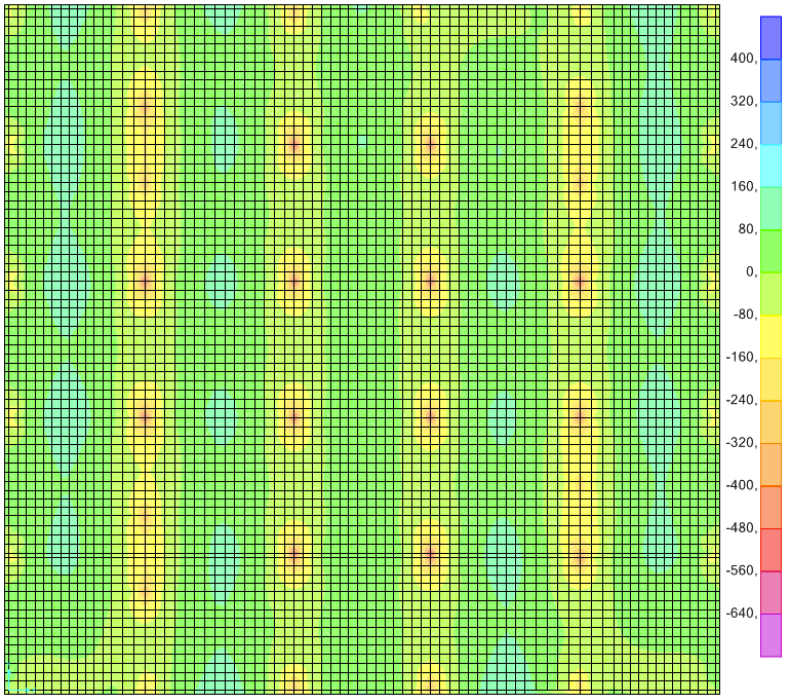


Figura 6.3 - Momentos Fletores M11[kN.m/m]

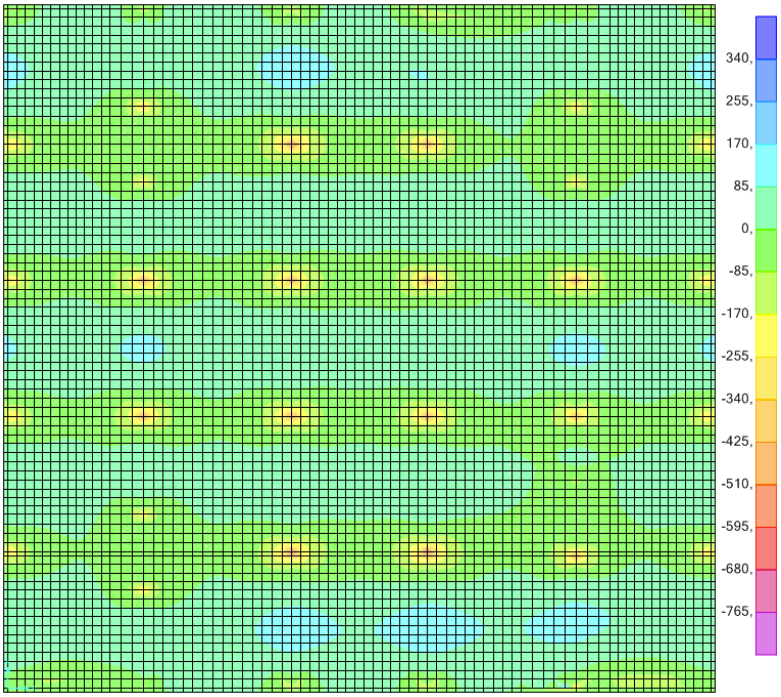


Figura 6.4 - Momentos Fletores M22[kN.m/m]

Como é possível verificar, a presença de paredes rígidas afeta de forma significativa os momentos na zona destas paredes. Estes elementos, introduzem um novo sistema de apoio ao longo de uma linha, deixando de existir apenas apoios pontuais, que irá afetar o desenvolvimento dos esforços ao longo das faixas dos pórticos equivalentes. Isto implica que, nas zonas próximas das paredes, a divisão entre faixa de pilares e faixas centrais ou a distribuição dos esforços ao longo da faixa, já não é coerente, pelo que a concentração de esforços não se dá apenas num ponto, mas sim ao longo de uma linha.

Embora a metodologia e o programa de cálculo auxiliar não contempla estas situações, pode admitir-se que permite obter as armaduras nas restantes zonas, ou seja, esta ferramenta permite obter de forma prática as armaduras correntes da laje.

6.2.4 Aplicabilidade da metodologia no caso de paredes rígidas

Como anteriormente foi referido, a metodologia desenvolvida têm o propósito de obter soluções de armaduras que verifiquem o Estado Limite Último na maior parte do piso. Como esta metodologia foi desenvolvida através do conceito de pórticos equivalentes, é necessário avaliar a sua aplicabilidade na vizinhança das paredes. O pórtico em análise, está representado na figura 6.2 com uma linha a vermelho.

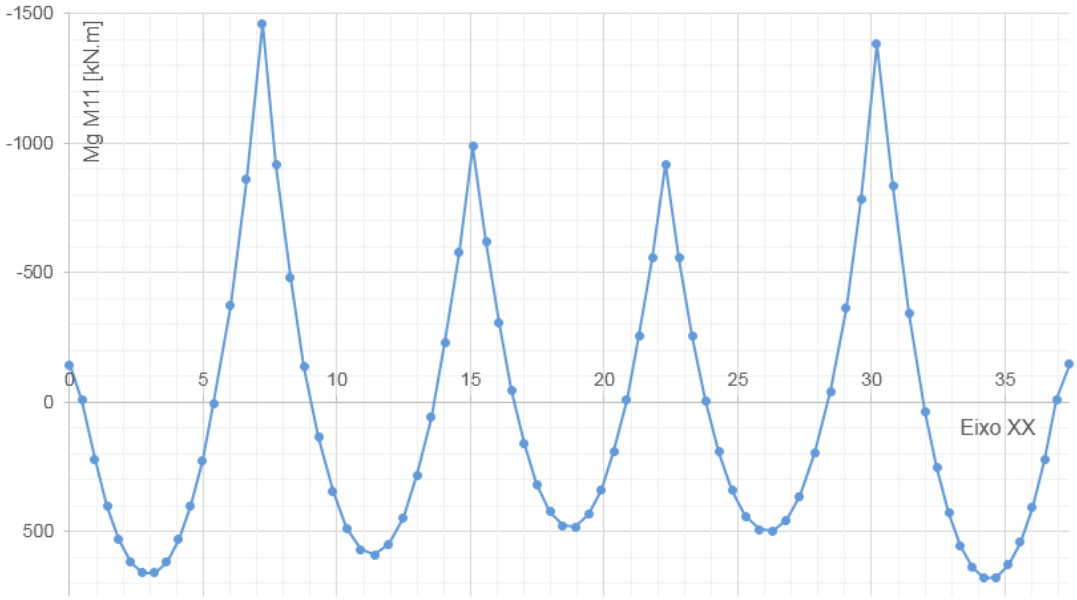


Figura 6.5 - Diagrama dos Momentos Globais M11 no pórtico y=28,8

No caso da parede, a transferência é feita ao longo de um conjunto de nós que ligam a malha da laje à parede. Assim, na zona das paredes existirá uma maior concentração de esforços que implica um momento global muito elevado no nó da parede que coincide com o alinhamento dos pilares. Deste modo, é necessário verificar se a distribuição dos momentos ao longo da faixa na parede é adequada para aplicar os conceitos de pórtico equivalente.

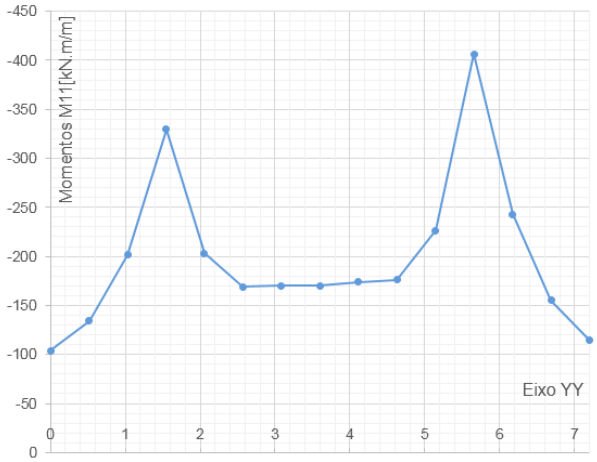


Figura 6.6 - Momentos Negativos do pórtico y=28,8 sobre a parede em x=7,2

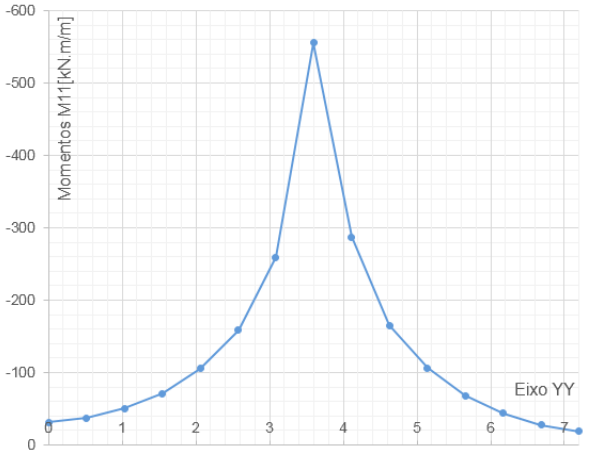


Figura 6.7 - Momentos Negativos do pórtico y=28,8 sobre o pilar em x=15,1m

Pela figura pode-se concluir dois aspetos, pelos quais não se pode aplicar a distribuição simplificada, sendo um deles a concentração de esforços nos dois vértices da parede em comparação com o pico de momentos no caso do pilar. O outro aspeto, prende-se com os momentos após os picos terem uma redução significativa e manterem-se constantes. Assim, não é possível aplicar a distribuição simplificada do momento global, pelo que a distribuição dos momentos ao longo da largura da faixa de uma parede é muito diferente em comparação com a situação de um pilar.

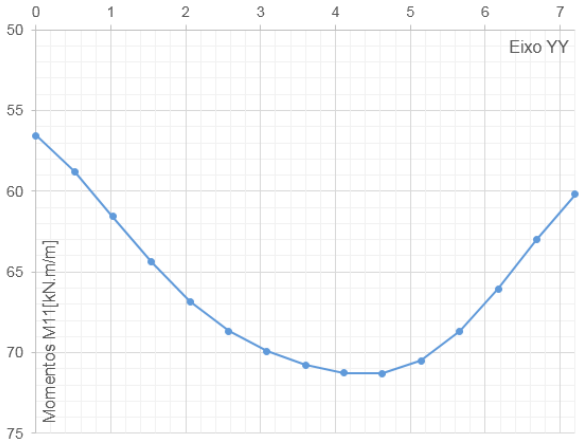


Figura 6.8 - Momentos Positivos do pórtico y=28,8 sobre a coordenada x=18,45

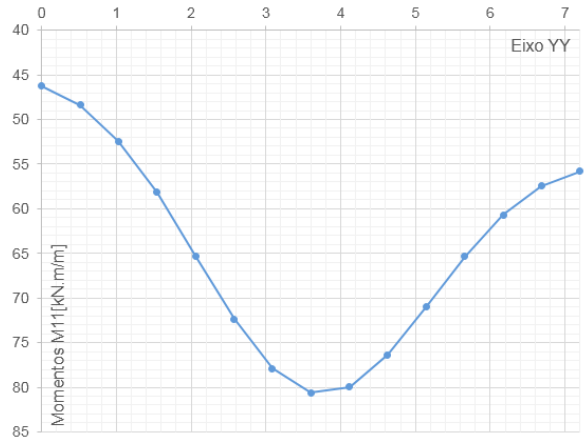
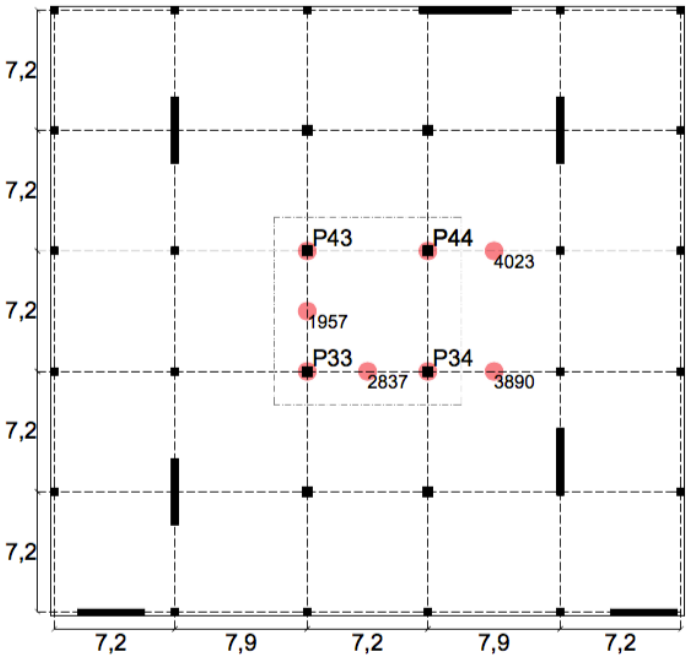


Figura 6.9 Momentos Positivos do pórtico y=28,8, sobre a coordenada x=10,36

Quanto à distribuição dos momentos flectores positivos, a evolução dos momentos ao longo da faixa é mais próxima entre os dois sistemas de apoio. Na presença de parede rígida a evolução dos momentos é menos acentuada em relação ao diagrama do pilar, mas em ambas a integração dos momentos unitários resulta num momento global muito próximo. Assim, pode ser aplicada da distribuição simplificada na zona de momentos positivos, dependendo da evolução destes diagramas entre o pilar e a parede, com algum critério que irá depender da escolha do projetistas.

6.2.5 VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS OBTIDOS PELA METODOLOGIA

Para verificar se a metodologia adoptada fornece resultados aceitáveis de quantidades de armadura a partir da distribuição simplificada, recorreu-se à utilização de "Section Cuts" do SAP2000 em zonas pré-definidas. Estas "Section Cuts", correspondem à integração dos momentos flectores ao longo de uma linha, que resulta no Momento Global dessa mesma linha. Em cada coordenada escolhida para fazer a verificação, foram feitas 3 section cuts, para integrar os momentos correspondentes à largura da faixa dos pilares e faixas centrais.



$$\rho_{min} = A_{s,min} / A_c = 4,5 / 25,9 = 0,17\% \quad (6.1)$$

$$\%Desvio = 1 - \frac{M_{Sectioncut}}{M_{Aplicação}} \quad (6.2)$$

$$A_{s,min} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \times b_t \times d \geq 0,0013 \times b_t \times d \quad (6.3)$$

$$\Rightarrow A_{s,min} = 4,5\,cm^2/m$$

Figura 6.10 - Pontos escolhidos para comparação entre valores obtidos através da aplicação auxiliar e das "SectionCuts" com o SAP2000

Quadro 6.3 - Momentos M11 obtidos com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar

Nó	X(m)	Y(m)	M11[kN.m/m] - Section Cuts					M11[kN.m/m] - Aplicação					Desvio(%)				
			Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6
2837	18,9	14,4	40,4	57,2			42,3	51,3	62,7			51,3	21,3%	8,8%			17,5%
P34	22,3	14,4	-37,4	-127,7	-255,4	-127,7	-57,3	-66,0	-132,0	-263,9	-132,0	-66,0	43,4%	3,2%	3,2%	3,2%	13,1%
3890	26,3	14,4	58,7	71,6			61,7	69,8	85,4			69,8	15,9%	16,1%			11,6%
P44	22,3	21,6	-34,3	-136,2	-272,4	-136,2	-38,1	-67,6	-135,2	-270,4	-135,2	-67,6	49,2%	-0,7%	-0,7%	-0,7%	43,6%
4023	26,3	21,6	59,1	72,5			59,6	70,6	86,3			70,6	16,4%	16,0%			15,7%

Quadro 6.4 - Momentos M22 obtidos com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar

Nó	X	Y	M22[kN.m/m] - Section Cuts					M22[kN.m/m] - Aplicação					Desvio(%)				
			Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6
P33	15,1	14,4	-21,8	-121,0	-253,3	-132,8	-34,9	-58,0	-116,0	-242,7	-127,3	-63,6	62,5%	-4,3%	-4,3%	-4,3%	45,2%
1957	15,1	17,76	50,3	64,8			46,9	57,3	73,3			62,9	12,2%	11,6%			25,5%
P43	15,1	21,6	-23,6	-119,1	-249,2	-130,6	-35,9	-58,4	-116,7	-244,2	-128,1	-64,0	59,6%	-2,0%	-2,0%	-2,0%	43,9%

Pelo quadro 6.3 e 6.4, é possível constatar que a metodologia aplicada, na maior parte dos casos resulta num acréscimo dos momentos flectores, em relação aos obtidos directamente no SAP2000. Na faixa dos pilares, tanto para a direção X como na direção Y, os valores obtidos pela aplicação de cálculo são muito próximos às "Section Cuts".

Para as zonas de momentos positivos o desvio em relação ao programa é aceitável, na ordem dos 17% em toda a faixa. Assim, a distribuição simplificada utilizada para os momentos positivos é uma boa aproximação para a envolvente de momento ao longo da faixa, em comparação com o que ocorre na zona dos pilares.

Nos nós dos pilares os desvios ao longo da faixa em relação ao SAP2000 são muito diferentes, sendo que na faixa dos pilares o desvio é muito pequeno e em alguns casos aparece com sinal negativo, comparativamente com o desvio elevado obtido nas faixas centrais. Esta diferença entre as faixas, deve-se à influência das paredes na distribuição dos esforços ao longo de toda a laje, que impõe uma maior concentração de esforços na faixa dos pilares.

Isto significa que a distribuição simplificada proposta pelo EC2, em momentos negativos, resulta em valores conversativos no caso das faixas centrais, sendo que nestas faixas a envolvente de esforços é bastante baixa, em comparação com a faixa dos pilares. Assim, a percentagem de distribuição de momentos flectores na zona dos pilares deveria ser superior, reduzindo a percentagem nas faixas centrais, em pilares cuja distribuição de esforços é afectada pelas paredes.

Quadro 6.5 - Taxas de Armaduras na direção XX obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar

Nó	X(m)	Y(m)	Taxa de Armadura - Section Cuts					Taxa de Armadura - Aplicação				
			ρa1	ρa2	ρa3a4	ρa5	ρa6	ρa1	ρa2	ρa3a4	ρa5	ρa6
2837	18,93	14,4	0,14%	0,20%			0,15%	0,18%	0,22%			0,18%
P34	22,3	14,4	0,13%	0,46%	0,98%	0,46%	0,20%	0,23%	0,48%	1,02%	0,48%	0,23%
3890	26,3	14,4	0,21%	0,25%			0,22%	0,25%	0,30%			0,25%
P44	22,3	21,6	0,12%	0,49%	1,06%	0,49%	0,14%	0,24%	0,49%	1,05%	0,49%	0,24%
4023	26,3	21,6	0,21%	0,26%			0,21%	0,25%	0,31%			0,25%
ρmin			0,17%									

Quadro 6.6 - Taxas de Armaduras na direção YY obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar

Nó	X(m)	Y(m)	Taxa de Armadura - Section Cuts					Taxa de Armadura - Aplicação				
			ρa1	ρa2	ρa3a4	ρa5	ρa6	ρa1	ρa2	ρa3a4	ρa5	ρa6
P33	15,1	14,4	0,07%	0,44%	0,97%	0,48%	0,12%	0,20%	0,42%	0,93%	0,46%	0,23%
1957	15,1	17,76	0,18%	0,23%			0,17%	0,20%	0,26%			0,22%
P43	15,1	21,6	0,08%	0,43%	0,96%	0,47%	0,13%	0,20%	0,42%	0,94%	0,46%	0,23%
ρmin			0,17%									

Pode-se concluir, que na faixa dos pilares a metodologia adoptada fornece valores de armaduras próximos e nas faixas centrais as quantidade de armadura obtidas são conversativas, comparativamente a um cálculo mais detalhado com recurso às section cuts do SAP2000. No entanto, as taxas de armaduras obtidas pelo cálculo detalhado para as faixas centrais, são muito próximas da taxa mínima de armadura que deverá existir. Assim, apenas é necessário fazer um cálculo detalhado das faixas centrais nas zonas mais esforçadas, para determinar se a armadura mínima adoptada é suficiente.

É de salientar que mesmo recorrendo a um cálculo detalhado dos esforços com recurso ao SAP2000, a solução de armaduras final pode resultar numa taxa de armaduras superior em relação à que seria estritamente necessária a partir do cálculo detalhado. Isto, devido aos requisitos de projeto, no que respeita a critérios económicos, uniformização da solução para facilidade de execução ou até mesmo devido a subjetividade deste tipo de estrutura.

6.2.6 Dimensionamento das armaduras a partir da metodologia

O dimensionamento das armaduras será realizado em dois vãos ortogonais com um pilar em comum, na zona em que há menor influência da paredes, com recurso aos valores obtidos com a aplicação auxiliar, tendo em consideração as quantidades de armadura obtidas pelo SAP2000 directamente. Quanto à redistribuição, como referido no ponto 4.3, adoptou-se um nível de redistribuição de 10% aplicado na faixa dos pilares.

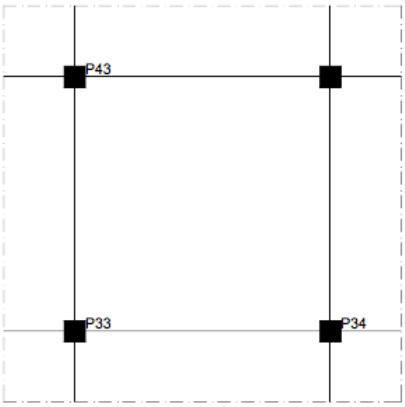


Figura 6.11 - Esquema dos pilares P33, P34 e P43 da figura 6.10, onde será feito o dimensionamento das armaduras

Apresenta-se o processo de cálculo para obter a solução de armaduras:

Quadro 6.7 - Taxas de Armaduras na direção XX e direção YY obtidas com recurso ao SAP2000 e à aplicação auxiliar

Nó	X	Y	As[cm²/m] - Section Cuts					As[cm²/m] - Aplicação Auxiliar				
			Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6
2837	18,93	14,4	3,7	5,2			3,9	4,7	5,7			4,7
P34	22,3	14,4	3,4	11,9	25,4	11,9	5,2	6,1	12,4	26,5	12,4	6,1
Nó	X	Y	As[cm²/m] - Section Cuts					As[cm²/m] - Aplicação Auxiliar				
			Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6	Ma1	Ma2	Ma3a4	Ma5	Ma6
P33	15,1	14,4	1,9	11,3	25,2	12,5	3,2	5,3	10,8	24,1	11,9	5,8
1957	15,1	17,76	4,6	6,0			4,3	5,2	6,8			5,8
P43	15,1	21,6	2,1	11,1	24,8	12,3	3,3	5,3	10,9	24,2	12,0	5,9

Para o dimensionamento das armaduras, começou-se por determinar a solução de armaduras mínima obrigatória a usar em toda a laje. A solução de armadura mínima inferior e superior escolhida resulta numa quantidade de aço superior à obtida através dos esforços do SAP2000, o que permite garantir o estado limite último na zona das faixas centrais, incluido as zonas mais críticas, de acordo com o quadro 6.7.

$$A_{s,min} = 4{,}5\,cm^2/m \Rightarrow \#\varnothing 12 \,/\, /0{,}2m \Rightarrow As = 5{,}65\,cm^2/m \qquad (6.4)$$

Os quadros 6.8 e 6.9, apresentam os valores dos momentos unitários em cada nó repartido pelas faixas e a respetiva quantidade de armadura necessária, aplicando um coeficiente de redistribuição de 0,1 na faixa dos pilares, calculada através da aplicação auxiliar. Estes valores são necessários para o

dimensionamento das armaduras nas zonas mais esforçadas, que devem ser confrontados com os valores obtidos pelo SAP2000.

Para a zona de momentos flectores positivos máxima, na análise elástica a diferença de quantidade de armadura entre a aplicação auxiliar e o SAP2000 é de 0,8cm/m², então a quantidade obtida com redistribuição para o nó 1957 poderá diferir de 1cm/m². Para uma maior uniformidade das armaduras inferiores e simplicidade de montagem, optou-se por reforçar as zonas críticas com uma armadura de ⌀12//0,2, obtendo uma quantidade total de 11,31 cm/m², que é muito superior à necessária pela aplicação. Esta armadura adicional deverá ser colocada na faixa dos pilares numa largura 4m centrada no alinhamento.

Quanto ao comprimento destes varões, pelo quadro 6.9 que corresponde à direção y onde os esforços são mais elevados no meio vão, é necessário que os varões tenham pelo menos um comprimento de 3,36m, com uma amarração de 50⌀ obtêm-se 4,56m. O comprimento de amarração adoptado é um pouco superior ao que realmente é necessário, tendo em consideração a classe de betão utilizada. Como os valores obtidos pela aplicação auxiliar, na zona de momentos positivos são superior cerca de 10% em relação às "Section Cuts", o comprimento final poderá ser ligeiramente inferior a 4,56m. Assim, aproximou-se o comprimento para 4,5m, sendo que na direção x, optou-se também por colocar varões com 4,5m na zona de meio vão.

No caso das armaduras superiores a colocar na zona dos pilares, com a redistribuição aplicada obtêm-se uma quantidade de armadura de 21,5cm/m² no pilar P43, optando-se por uma solução de ⌀16//0,2+⌀20//0,2. Esta solução resulta numa quantidade de armadura que é cerca de 25,7cm/m², sendo superior à quantidade necessária em todos os pilares em análise, então é aplicada a mesma solução nos restantes pilares.

Pela regra dos pórticos equivalentes, esta armadura deverá ser disposta numa área quadrada delimitada pela largura da faixa dos pilares que intersecta esse pilar. Assim, a armadura a resistir aos momentos negativos na zona dos pilares, deverá ser disposta num quadrado centrado no pilar com a dimensão de 4m. Quanto à amarração de cada varão, tanto para os varões de ⌀20 como para os de ⌀16, optou-se novamente por 50⌀, em que ⌀ é o diâmetro de 20mm, obtendo-se um comprimento final de 6m para cada varão. O esquema dos desenhos das armaduras superiores e inferiores apresentam-se na página seguinte, no Anexo C encontram-se estes desenhos à escala.

Quadro 6.8 - Momentos M11 e quantidade de armadura Asx para cada nó da malha, obtidos a partir da aplicação auxiliar

Coordenadas			M11[kN.m/m]					Asx[cm²/m]				
Nó	XX	YY	Ma1	Ma2	Ma3+a4	Ma5	Ma6	As(a1)	As(a2)	As(a3+a4)	As(a5)	As(a6)
P33	15,1	14,4	-66,9831	-120,57	-241,139	-120,57	-66,9831	6,184844	11,29951	23,9033	11,29951	6,184844
~2788	15,58	14,4	-42,0024	-70,7079	-141,416	-70,7079	-42,0024	3,849086	6,517356	13,28268	6,517356	3,849086
~2795	16,06	14,4	-21,9731	-30,6492	-61,2985	-30,6492	-21,9731	1,951282	2,789537	5,579073	2,789537	1,951282
~2802	16,54	14,4	-5,25639	0	4,176345	0	-5,25639	0,466784	0	0,370872	0	0,466784
~2809	17,01	14,4	14,65275	0	37,85443	0	14,65275	1,30121	0	3,48073	0	1,30121
~2816	17,49	14,4	32,78525	0	60,01638	0	32,78525	3,017158	0	5,44878	0	3,017158
~2823	17,97	14,4	44,93738	0	74,86897	0	44,93738	4,109718	0	6,886876	0	4,109718
~2830	18,45	14,4	51,10238	0	82,40398	0	51,10238	4,657189	0	7,556008	0	4,657189
~2837	18,93	14,4	51,2785	0	82,61923	0	51,2785	4,67283	0	7,575124	0	4,67283
~2844	19,41	14,4	45,476	0	75,5273	0	45,476	4,157549	0	6,945338	0	4,157549
~2851	19,89	14,4	33,70412	0	61,13944	0	33,70412	3,11217	0	5,562125	0	3,11217
~2858	20,36	14,4	15,98013	0	39,47678	0	15,98013	1,419085	0	3,6248	0	1,419085
~2865	20,84	14,4	-4,26257	0	7,157804	0	-4,26257	0,378529	0	0,635635	0	0,378529
~2872	21,32	14,4	-20,6897	-28,0823	-56,1646	-28,0823	-20,6897	1,837305	2,515994	5,10673	2,515994	1,837305
166	21,8	14,4	-40,3869	-67,4767	-134,953	-67,4767	-40,3869	3,705619	6,230423	12,69913	6,230423	3,705619
P34	22,3	14,4	-65,987	-118,777	-237,553	-118,777	-65,987	6,078701	11,10846	23,45751	11,10846	6,078701

.

Quadro 6.9 - Momentos M22 e quantidade de armadura Asy para cada nó da malha, obtidos a partir da aplicação auxiliar

Coordenadas			M22[kN.m/m]					Asy[cm²/m]				
Nó	YY	XX	Ma1	Ma2	Ma3+a4	Ma5	Ma6	As(a1)	As(a2)	As(a3+a4)	As(a5)	As(a6)
P33	14,4	15,1	-57,9976	-104,396	-218,47	-114,545	-63,6363	5,269505	9,695108	21,37477	10,65755	5,828195
~1951	14,88	15,1	-36,0257	-60,4164	-126,434	-66,2903	-39,5282	3,318333	5,485078	11,82346	6,111015	3,629366
~1952	15,36	15,1	-16,6063	-21,5776	-45,1557	-23,6754	-18,2208	1,474688	1,916155	4,129107	2,102448	1,61806
~1953	15,84	15,1	-0,43525	0	16,8952	0	-0,47757	0,038652	0	1,500346	0	0,04241
~1954	16,32	15,1	22,49544	0	47,03051	0	24,6825	1,997665	0	4,295594	0	2,191882
~1955	16,8	15,1	39,94223	0	69,34287	0	43,8255	3,666133	0	6,396142	0	4,01098
~1956	17,28	15,1	51,55644	0	84,19608	0	56,56888	4,697512	0	7,715153	0	5,142632
~1957	17,76	15,1	57,33786	0	91,58982	0	62,91238	5,210919	0	8,449611	0	5,751056
~1958	18,24	15,1	57,28842	0	91,52659	0	62,85812	5,206529	0	8,442872	0	5,745274
~1959	18,72	15,1	51,41016	0	84,00901	0	56,40837	4,684522	0	7,69854	0	5,128378
~1960	19,2	15,1	39,70435	0	69,03866	0	43,5645	3,645009	0	6,369126	0	3,987802
~1961	19,68	15,1	22,17327	0	46,61847	0	24,329	1,969055	0	4,259004	0	2,160491
~1962	20,16	15,1	-0,65241	0	16,21355	0	-0,71583	0,057936	0	1,439813	0	0,063568
~1963	20,64	15,1	-16,8538	-22,0726	-46,1917	-24,2186	-18,4924	1,496669	1,960118	4,221109	2,150685	1,642179
~1964	21,12	15,1	-36,2934	-60,9519	-127,555	-66,8777	-39,8219	3,342108	5,542137	11,92476	6,173621	3,655452
P43	21,6	15,1	-58,352	-105,034	-219,805	-115,245	-64,0251	5,30098	9,763095	21,51705	10,73214	5,869636

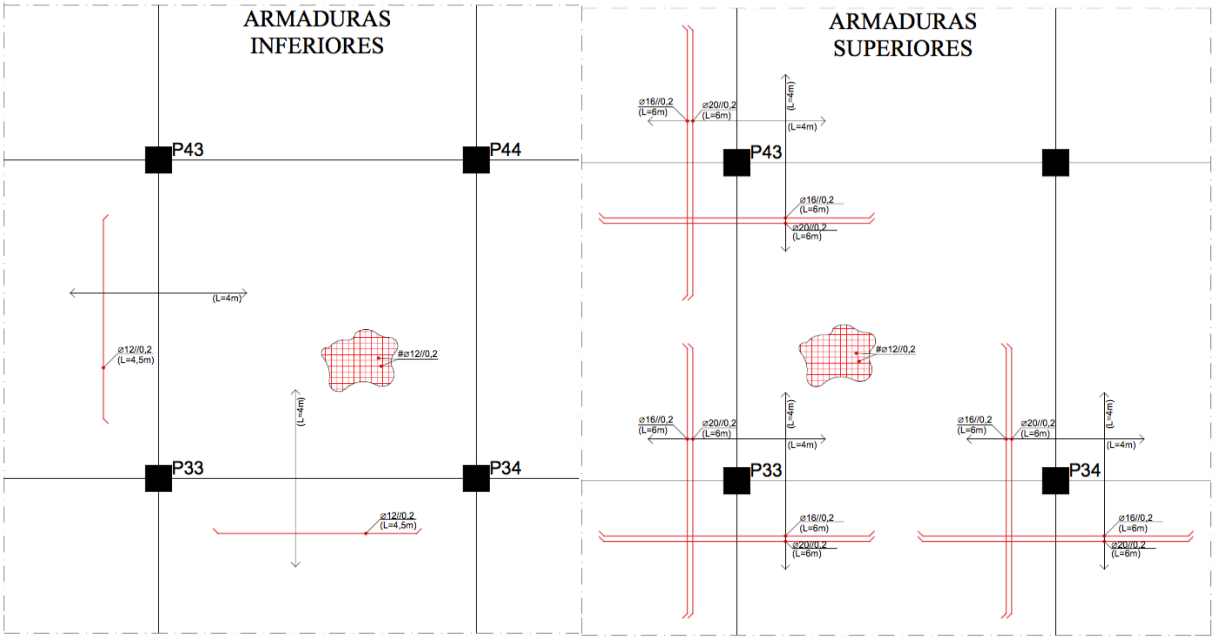


Figura 6.12 - Esquema dos desenhos das Armaduras Superiores e inferiores.

.

.

7

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1. CONCLUSÕES

No desenvolvimento deste trabalho, tentou-se abordar de forma mais fundamentada possível os vários aspetos inerentes às lajes fungiformes, assim como a sua aplicação em projeto. Isto porque, esta dissertação têm o propósito de estudar as dificuldades sentidas no projeto deste tipo de estruturas, que podem ser ultrapassadas a partir de todos os conceitos, ferramentas de cálculo corrente disponíveis e o desenvolvimento de aplicações de calculo auxiliares para analisar e dimensionar este tipo de lajes.

Para tal, começou-se por estudar o comportamento das lajes fungiformes quanto à forma como os esforços se desenvolvem ao longo da laje, na presença de cargas verticais, e os aspetos particulares que resultam deste sistema de apoio. Este sistema estrutural, introduz um grau de complexidade elevado na determinação do comportamento real da ligação entre os pilares e a laje, que limita a transferência de esforços nesta ligação e introduz o punçoamento, sendo um fenómeno crítico que condiciona muitas vezes a espessura da laje na zona dos pilares.

No âmbito das lajes fungiformes, existem vários métodos de análise, sendo uns baseados em análise elástica ou plástica. Em projeto, na maior parte dos casos, opta-se por utilizar o Método dos Elementos Finitos que permite uma análise elástica da envolvente global incorporando todas irregularidades existentes, que no caso destas lajes, na maior parte dos casos existem sempre aberturas na laje e paredes ou núcleos rígidos. A forma como é exposta a envolvente de momentos flectores obtida por este método, na zona dos pilares pode ser interpretada com os conceitos do método dos pórticos equivalentes, sendo que o dimensionamento das armaduras, na maior parte dos casos é feita a partir dos momentos flectores. Assim é possível, aplicar as regras e indicações dadas pela regulamentação, para auxiliar a análise e dimensionamento das lajes fungiformes

O Método dos Elementos Finitos, é um método muito versátil e facilmente disponível ao projetista, por ser integrado na maior parte das ferramentas de cálculo correntes existentes. Mas os resultados a partir deste método, depende da forma como é feita a modelação da estrutura, tendo consequências na sua aproximação ao comportamento real da estrutura. Este método é integrado na maioria das ferramentas de cálculo corrente disponíveis, no entanto devem ser adoptadas metodologias que permitem um dimensionamento sistematizado.

Para definir estas metodologias, devem ser estabelecidos princípios gerais que devem ser cumpridos para que os valores de dimensionamento obtidos sejam coerentes. Assim, na metodologia proposta, houve uma preocupação em garantir as condições de equilíbrio de toda a estrutura.

Quanto à verificação do estado limite ultimo, a metodologia de análise respeita as imposições da regulamentação como o EC2, garantindo o equilíbrio de toda a estrutura e permitindo a introdução de um coeficiente de redistribuição.

A aplicação de cálculo auxiliar criada, permite uma grande flexibilidade quanto às considerações do projetista, pelo que permite ajustar a largura das faixas, escolha de coeficientes de redistribuição e fornece duas soluções de armaduras para os dois tipos de redistribuição.

É possível concluir que o cálculo das armaduras de flexão nas zonas mais regulares fica resolvido, sendo necessário ajustar as quantidades, nas presença de irregularidades na laje. Este cálculo, carece de uma análise mais detalhada e o dimensionamento das armaduras nestas zonas, deve ser feito a partir dos esforços obtidos no modelo elástico da laje.

Pode apontar-se como uma vantagem desta ferramenta e da sua versatilidade, permitir ao projetista analisar qual a melhor forma de redistribuição a aplicar ou apenas obter os esforços dados pelas metodologia de uma forma sistemática sem desperdiçar muito tempo.

Assim, a utilização da metodologia e ferramenta desenvolvida no âmbito deste trabalho, torna-se uma vantagem para o projeto de lajes fungiformes, permitindo ao projetista uma perspetiva diferente de dimensionamento, que auxilia todo o processo de dimensionamento.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Durante o processo de desenvolvimento da metodologia de análise e da aplicação de cálculo, a parte que ficou por resolver, foi quanto às irregularidades que seria interessante introduzir algum método para dar conta do dimensionamento das armaduras nas zonas das paredes e na alternância de vãos. Assim, um dos desenvolvimentos futuros, será a adaptação da metodologia de cálculo para dar resposta à presença das paredes e alternância de vãos na envolvente de esforços, para obter quantidades de armadura que possam ser comparadas com as obtidas a partir dos esforços do modelo elástico da laje.

Outro aspecto que não foi possível abordar no âmbito desta dissertação, foi o estudo das lajes aligeiradas. Este tipo de laje é diferente da laje maciça, sendo necessário utilizar outras estratégias de modelação e realizar algumas adaptações à metodologia.

.

.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Figueiras, Joaquim A. *Análise e Dimensionamento de Lajes Fungiformes.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

[2] Figueiras, Joaquim A. *Verificação aos Estados Limites de Utilização.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1997

[3] Figueiras, Joaquim A. *Análise e dimensionamento de estruturas portadas.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2003

[4] Henriques, António A. Novos Conceitos na Análise e Dimensionamento de Estruturas de Betão Armado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010

[5] Carvalho, Nelson Romano Ferreira. *Metodologias de Análise de Lajes fungiformes - Aplicação no Projecto de Edifícios.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

[6] Azevedo, Álvaro Ferreira Marques. *Método dos Elementos Finitos.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2001

[7] Deaton, James B. *A Finite Element Aproach to Reinforced Concrete Slab Design.* Masters Degree Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2005

[8] Enochsson, Ola., Dufvenberg, Peter. *Concrete Slabs Designed with Finite Element Methods.* Masters Degree Thesis, Lulea University of Techonology, 2001

[9] Silva, Vitor Hugo Moreira Pinto Da. *Dimensionamento de Lajes Fungiformes com Irregularidades Limitadas em Planta.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

[10] Mosley, Bill., Bungey, John., Hulse, Ray. *Reinforced Concrete Design to Eurocode 2.* Palgrave Macmillan, New York, 2007

[11] Bond, A. J., Brooker, O., Harris, A. J., Harrison, T., Moss, R. M., Narayanan, R. S., Webster, R. Ray.*How to Design Concrete Structures using Eurocode 2.* The Concrete Centre, Camberley , 2006

[12] Computer and Strutures, Inc. *SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures BASIC ANALYSIS REFERENCE ,* Berkeley, 1998

[13] Comité Europeu de Normalização. *Eurocódigo 2 , Projeto de Estruturas de Betão - Parte 1-1 : Regras gerais para Edifícios,*EN1992-1-1, Norma Europeia, 2004

[14] REBAP. *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado,* Decreto-Lei nº349-c/83 , Porto Editora, Porto, 1984

[15] Kennedy, G., GoodChild, C. *Practical Yield Line Design ,* British Cement Association., Berkeley, 2003.

[16] Wilson, L., Edward.. *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures - A Physical Approach with Emphasis on Earthquake Engineering ,* Computer and Strutures, Inc., Crowthorn, 2002

[17] ACI committee 318. *ACI 318-08 , Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary,*American Concrete Institute, Farmington Hills, 2007

[18] *Model Code 2010 First Complete draft CI 318-08* International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, (2010)

.

[19] Nilson, Arthur, H., Darwin, David., Dolan, Charles, W.,(2000). *Design of Concrete Structures*. Mc-graw-Hill, New York.

[20] Barros, Helena. , Figueiras, Joaquim A. *"Tabelas e Ábacos de Dimensionamento de Secções de Betão Solicitadas à Flexão e a Esforços Axiais, Segundo o Eurocódigo 2"*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012

[18] Hassan, Jassim M., Brown, Tom G., Jergeas, George F. (2011). *Design Field Bending Moment Coefficients for Interior Reinforced Concrete Flat Plates*. Pratice Periodical On Structural Design and Construction, 02/2011, ASCE, Calgary.

[21] Scott, R. *Serviceability uncertainties in flat slabs*. Structural Concrete 15 No 4, 2014, London.

[22] Faria, R., Figueiras, J. A., Vila Pouca, N., Pimentel, M., Nunes, S., Henriques, A. *Análise e Dimensionamento de Lajes de Betão Armado - Lajes Fungiformes* . Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014

.

Anexos

.

ANEXO A - Tabelas com Cálculo das armaduras e do estudo do efeito da fendilhação - Modelo do Ensaio Experimental

Quadro A.1 - Disposições construtivas do ensaio

Disposições Construtivas									
Faixa	Direção	c(m)	h(m)	Varao(mm)	A(cm²)	d(m)	As(cm²/m)	Alpha	Ecm(GPa)
FPCanto	X	0,0045	0,045	6	0,283	0,0375	1,53	15	31
	Y	0,0105				0,0315	2,18		
FC	X	0,0045				0,0375	1,53		
	Y	0,0105				0,0315	2,18		
FPCentral	X	0,0045				0,0375	2,26		
	Y	0,0105				0,0315	3,26		

Quadro A.2 - Parâmetros resistentes dos materiais utilizados no ensaio

Propriedades		
fck(Kpa)	37900	25266,667
fctm(KPa)	1600	
fyk(Kpa)	400000	347826,087

Quadro A.3 - Dimensionamento das armaduras

Quantidade de Armaduras											
SectionCut	GlobalX	GlobalY	M2	Direcção X				Direcçao y			
				u	w	As		u	w	As	
Text	m	m	kN.m/m	-	-	cm²/m	Espaçamento	-	-	cm²/m	Espaçamento
SCUT1	0,0457	0,0571	0,3634	0,0102	0,0102	0,28	1,015	0,0145	0,0145	0,39	0,716
SCUT2	0,1143	0,0571	0,8030	0,0226	0,0231	0,63	0,449	0,0320	0,0330	0,90	0,314
SCUT3	0,1828	0,0571	1,1619	0,0327	0,0337	0,92	0,308	0,0463	0,0476	1,30	0,218
SCUT4	0,2514	0,0571	1,4594	0,0411	0,0421	1,15	0,247	0,0582	0,0602	1,64	0,172
SCUT5	0,3199	0,0571	1,6917	0,0476	0,0491	1,34	0,211	0,0675	0,0700	1,91	0,148
SCUT6	0,3885	0,0571	1,8431	0,0519	0,0539	1,47	0,193	0,0735	0,0765	2,08	0,136
SCUT7	0,4570	0,0571	1,8961	0,0534	0,0554	1,51	0,187	0,0756	0,0788	2,15	0,132
SCUT8	0,1828	0,2285	0,2214	0,0062	0,0062	0,17	1,666	0,0088	0,0088	0,24	1,176
SCUT9	0,2514	0,2285	0,5663	0,0159	0,0159	0,43	0,651	0,0226	0,0231	0,63	0,449
SCUT10	0,3199	0,2285	0,9095	0,0256	0,0266	0,72	0,390	0,0363	0,0373	1,02	0,278
SCUT11	0,3885	0,2285	1,2414	0,0349	0,0359	0,98	0,289	0,0495	0,0514	1,40	0,202
SCUT12	0,4570	0,2285	1,5527	0,0437	0,0447	1,22	0,232	0,0619	0,0639	1,74	0,162
SCUT13	0,0457	0,2285	1,8109	0,0510	0,0530	1,44	0,196	0,0722	0,0752	2,05	0,138
SCUT14	0,1143	0,2285	1,9234	0,0541	0,0561	1,53	0,185	0,0767	0,0801	2,18	0,130
SCUT15	0,0457	0,4570	0,1667	0,0047	0,0047	0,13	2,213	0,0066	0,0066	0,18	1,561
SCUT16	0,1143	0,4570	0,4475	0,0126	0,0126	0,34	0,824	0,0179	0,0179	0,49	0,581
SCUT17	0,1828	0,4570	0,7543	0,0212	0,0215	0,59	0,483	0,0301	0,0311	0,85	0,334
SCUT18	0,2514	0,4570	1,0864	0,0306	0,0316	0,86	0,329	0,0433	0,0443	1,21	0,234
SCUT19	0,3199	0,4570	1,4666	0,0413	0,0423	1,15	0,246	0,0585	0,0605	1,65	0,172
SCUT20	0,3885	0,4570	1,9755	0,0556	0,0576	1,57	0,180	0,0788	0,0826	2,25	0,126
SCUT21	0,4570	0,4570	2,8159	0,0793	0,0831	2,26	0,125	0,1123	0,1198	3,26	0,087

Quadro A.4 - Cálculo da rigidez antes e após fendilhação

Fase Não Fendilhada							Fase Fendilhada		
Faixa	Direcção	Ygi(m)	Ici(m4)	Mcr(KNm/m)	Medmáx(KN.m/m)	EI(KN/m²)	Ygi(m)	Ici(m4)	EI(KN/m²)
FPCanto	X	0,02318	8,05E-06	0,59	1,90	249,66	0,01102	2,05E-06	63,68
	Y	0,02307	7,83E-06	0,57		242,59	0,01145	1,82E-06	56,28
FC	X	0,02318	8,05E-06	0,59	1,92	249,66	0,01102	2,05E-06	63,68
	Y	0,02307	7,83E-06	0,57		242,59	0,01145	1,82E-06	56,28
FPCentral	X	0,02349	8,26E-06	0,61	2,82	256,06	0,01292	2,77E-06	85,88
	Y	0,02333	7,93E-06	0,59		245,82	0,01333	2,41E-06	74,57

FP Central

Quadro A.5 - Cálculo do fator de redução de rigidez na faixa central

Variação de Rigidez Momentos M11																		
Direção X										Direção Y								
Nó	Coordenada X	Coordenada Y	M11(KNm/m)	ζm	kI	kII	km	EI	Factor	Coordenada y	Coordenada x	M11(KNm/m)	ζm	kI	kII	km	EI(KN/m2)	Factor
45	0		0,00		0	0	0,00000			0	0,457	0		0	0	0,00000		
44	0,02285		0,05		0,00021	0	0,00021			0,02285	0,457	0,05		0,00021	0	0,00021		
105	0,0457		0,11		0,00043	0	0,00043			0,0457	0,457	0,11		0,00044	0	0,00044		
146	0,06855		0,17		0,00066	0	0,00066			0,06855	0,457	0,17		0,00068	0	0,00068		
187	0,0914	0,457	0,23	0	0,00090	0	0,00090	256,06	1	0,0914	0,457	0,23	0	0,00094	0	0,00094	245,82	1
228	0,11425		0,29		0,00115	0	0,00115			0,11425	0,457	0,29		0,00120	0	0,00120		
269	0,1371		0,36		0,00140	0	0,00140			0,1371	0,457	0,36		0,00146	0	0,00146		
310	0,15995		0,43		0,00167	0	0,00167			0,15995	0,457	0,43		0,00174	0	0,00174		
351	0,1828		0,50		0,00194	0	0,00194			0,1828	0,457	0,50		0,00202	0	0,00202		
392	0,20565		0,57		0,00221	0	0,00221			0,20565	0,457	0,57		0,00231	0	0,00231		
Fendilhação	0,220521469	0,457	0,61	0	0,00240	0	0,00240	256,06	1	0,211455806	0,457	0,59	0,0000	0,00238	0	0,00238	245,820	1
433	0,2285		0,64		0,00250	0,00745	0,00614			0,2285	0,457	0,64		0,00260	0,00858	0,00707		
474	0,25135		0,71		0,00279	0,00832	0,00686			0,25135	0,457	0,71		0,00291	0,00959	0,00790		
515	0,2742		0,79		0,00310	0,00923	0,00761			0,2742	0,457	0,79		0,00323	0,01064	0,00877		
556	0,29705		0,88		0,00342	0,01020	0,00840			0,29705	0,457	0,88		0,00356	0,01174	0,00968		
597	0,3199		0,96		0,00377	0,01123	0,00926			0,3199	0,457	0,96		0,00392	0,01293	0,01066		
638	0,34275		1,06		0,00415	0,01237	0,01020			0,34275	0,457	1,06		0,00432	0,01425	0,01175		
679	0,3656		1,18		0,00459	0,01368	0,01128			0,3656	0,457	1,18		0,00478	0,01576	0,01299		
720	0,38845		1,31		0,00512	0,01527	0,01259			0,38845	0,457	1,31		0,00534	0,01759	0,01450		
761	0,4113		1,50		0,00585	0,01746	0,01439			0,4113	0,457	1,50		0,00610	0,02010	0,01658		
802	0,43415		1,69		0,00662	0,01973	0,01627			0,43415	0,457	1,69		0,00689	0,02273	0,01874		
843	0,457	0,457	2,94	0,736	0,01148	0,03423	0,02822	104,19	0,407	0,457	0,457	2,94	0,7481	0,01196	0,03943	0,03251	90,44	0,368
884	0,47985		1,69		0,00662	0,01973	0,01627			0,47985	0,457	1,69		0,00689	0,02273	0,01874		
925	0,5027		1,50		0,00585	0,01746	0,01439			0,5027	0,457	1,50		0,00610	0,02010	0,01658		
966	0,52555		1,31		0,00512	0,01527	0,01259			0,52555	0,457	1,31		0,00534	0,01759	0,01450		
1007	0,5484		1,18		0,00459	0,01368	0,01128			0,5484	0,457	1,18		0,00478	0,01576	0,01299		
1048	0,57125		1,06		0,00415	0,01237	0,01020			0,57125	0,457	1,06		0,00432	0,01425	0,01175		
1089	0,5941		0,96		0,00377	0,01123	0,00926			0,5941	0,457	0,96		0,00392	0,01293	0,01066		
1130	0,61695		0,88		0,00342	0,01020	0,00840			0,61695	0,457	0,88		0,00356	0,01174	0,00968		
1171	0,6398		0,79		0,00310	0,00923	0,00761			0,6398	0,457	0,79		0,00323	0,01064	0,00877		
1212	0,66265		0,71		0,00279	0,00832	0,00686			0,66265	0,457	0,71		0,00291	0,00959	0,00790		
1253	0,6855		0,64		0,00250	0,00745	0,00614			0,6855	0,457	0,64		0,00260	0,00858	0,00707		
Fendilhação	0,693478531	0,457	0,61	0	0,00240	0	0,00240	256,057	1	0,702544194	0,457	0,59	0	0,00238	0	0,00238	245,820	1
1294	0,70835		0,57		0,00221	0	0,00221			0,70835	0,457	0,57		0,00231	0	0,00231		
1335	0,7312		0,50		0,00194	0	0,00194			0,7312	0,457	0,50		0,00202	0	0,00202		
1376	0,75405		0,43		0,00167	0	0,00167			0,75405	0,457	0,43		0,00174	0	0,00174		
1417	0,7769		0,36		0,00140	0	0,00140			0,7769	0,457	0,36		0,00146	0	0,00146		
1458	0,79975	0,457	0,29	0	0,00115	0	0,00115	256,06	1	0,79975	0,457	0,29	0	0,00120	0	0,00120	245,82	1
1499	0,8226		0,23		0,00090	0	0,00090			0,8226	0,457	0,23		0,00094	0	0,00094		
1540	0,84545		0,17		0,00066	0	0,00066			0,84545	0,457	0,17		0,00068	0	0,00068		
1581	0,8683		0,11		0,00043	0	0,00043			0,8683	0,457	0,11		0,00044	0	0,00044		
1622	0,89115		0,05		0,00021	0	0,00021			0,89115	0,457	0,05		0,00021	0	0,00021		
1662	0,914		0,00		0	0	0,00000			0,914	0,457	0,00		0	0	0		

Faixas Restantes

Quadro A.6 - Cálculo do fator de redução de rigidez nas restantes faixas

Variação de Rigidez Momentos M11																		
Direção X										Direção Y								
Nó	Coordenada X	Coordenada Y	M11(KNm/m)	ζm	kl	kll	km	El	Factor	Coordenada y	Coordenada x	M11(KNm/m)	ζm	kl	kll	km	El(KN/m2)	Factor
7	0,00000		0,00		0,00001	0	0,00001			0,00000	0,02285	0		0	0	0		
6	0,02285		0,15		0,00060	0	0,00060			0,02285	0,02285	0,15		0,00062	0	0,00062		
86	0,04570	0,02285	0,29	0	0,00115	0	0,00115	249,66	1	0,04570	0,02285	0,29	0	0,00118	0	0,00118	242,59	1
127	0,06855		0,40		0,00160	0	0,00160			0,06855	0,02285	0,40		0,00165	0	0,00165		
168	0,09140		0,50		0,00200	0	0,00200			0,09140	0,02285	0,50		0,00206	0	0,00206		
-	0,114148525	0,02285	0,59	0	0,00237	0	0,00237	249,66	1	0,10924888	0,02285	0,57	0	0,00235	0	0,00235	242,59	1
209	0,11425		0,59		0,00237	0,00928	0,00731			0,11425	0,02285	0,59		0,00244	0,01050	0,00828		
250	0,13710		0,68		0,00271	0,01061	0,00836			0,13710	0,02285	0,68		0,00279	0,01200	0,00947		
291	0,15395		0,75		0,00302	0,01185	0,00933			0,15395	0,02285	0,75		0,00311	0,01341	0,01057		
332	0,18280		0,83		0,00332	0,01301	0,01025			0,18280	0,02285	0,83		0,00342	0,01472	0,01161		
373	0,20565		0,90		0,00360	0,01410	0,01111			0,20565	0,02285	0,90		0,00370	0,01595	0,01258		
414	0,22850		0,96		0,00386	0,01511	0,01191			0,22850	0,02285	0,96		0,00397	0,01710	0,01348		
455	0,25135		1,02		0,00410	0,01606	0,01265			0,25135	0,02285	1,02		0,00421	0,01817	0,01432		
496	0,27420		1,08		0,00432	0,01692	0,01333			0,27420	0,02285	1,08		0,00444	0,01915	0,01510		
537	0,29705		1,13		0,00452	0,01770	0,01395			0,29705	0,02285	1,13		0,00465	0,02003	0,01579		
578	0,31990		1,17		0,00469	0,01840	0,01449			0,31990	0,02285	1,17		0,00483	0,02082	0,01642		
619	0,34275		1,21		0,00485	0,01900	0,01497			0,34275	0,02285	1,21		0,00499	0,02150	0,01695		
660	0,36560		1,24		0,00498	0,01951	0,01537			0,36560	0,02285	1,24		0,00512	0,02207	0,01740		
701	0,38845		1,27		0,00508	0,01991	0,01568			0,38845	0,02285	1,27		0,00523	0,02253	0,01776		
742	0,41130		1,29		0,00515	0,02020	0,01591			0,41130	0,02285	1,29		0,00530	0,02285	0,01802		
783	0,43415		1,30		0,00520	0,02037	0,01605			0,43415	0,02285	1,30		0,00535	0,02305	0,01818		
824	0,45700	0,02285	1,30	0,715	0,00521	0,02043	0,01609	80,84	0,324	0,45700	0,02285	1,30	0,725	0,00536	0,02312	0,01823	71,38	0,294
865	0,47985		1,30		0,00520	0,02037	0,01605			0,47985	0,02285	1,30		0,00535	0,02305	0,01818		
906	0,50270		1,29		0,00515	0,02020	0,01591			0,50270	0,02285	1,29		0,00530	0,02285	0,01802		
947	0,52555		1,27		0,00508	0,01991	0,01568			0,52555	0,02285	1,27		0,00523	0,02253	0,01776		
988	0,54840		1,24		0,00498	0,01951	0,01537			0,54840	0,02285	1,24		0,00512	0,02207	0,01740		
1029	0,57125		1,21		0,00485	0,01900	0,01497			0,57125	0,02285	1,21		0,00499	0,02150	0,01695		
1070	0,59410		1,17		0,00469	0,01840	0,01449			0,59410	0,02285	1,17		0,00483	0,02082	0,01642		
1111	0,61695		1,13		0,00452	0,01770	0,01395			0,61695	0,02285	1,13		0,00465	0,02003	0,01579		
1152	0,63980		1,08		0,00432	0,01692	0,01333			0,63980	0,02285	1,08		0,00444	0,01915	0,01510		
1193	0,66265		1,02		0,00410	0,01606	0,01265			0,66265	0,02285	1,02		0,00421	0,01817	0,01432		
1234	0,68550		0,96		0,00386	0,01511	0,01191			0,68550	0,02285	0,96		0,00397	0,01710	0,01348		
1275	0,70835		0,90		0,00360	0,01410	0,01111			0,70835	0,02285	0,90		0,00370	0,01595	0,01258		
1316	0,73120		0,83		0,00332	0,01301	0,01025			0,73120	0,02285	0,83		0,00342	0,01472	0,01161		
1357	0,75405		0,75		0,00302	0,01185	0,00933			0,75405	0,02285	0,75		0,00311	0,01341	0,01057		
1398	0,77690		0,68		0,00271	0,01061	0,00836			0,77690	0,02285	0,68		0,00279	0,01200	0,00947		
1439	0,79975		0,59		0,00237	0,00928	0,00731			0,79975	0,02285	0,59		0,00244	0,01050	0,00828		
-	0,79985	0,02285	0,59	0	0,00237	0	0,00237	249,66	1	0,80475	0,02285	0,57	0	0,00235	0	0,00235	242,59	1
1480	0,82260		0,50	0	0,00200	0	0,00200			0,82260	0,02285	0,50		0,00206	0	0,00206		
1521	0,84545		0,40	0	0,00160	0	0,00160			0,84545	0,02285	0,40		0,00165	0	0,00165		
1562	0,86830	0,02285	0,29	0	0,00115	0	0,00115	249,66	1	0,86830	0,02285	0,29	0	0,00118	0	0,00118	242,59	1
1603	0,89115		0,15	0	0,00060	0	0,00060			0,89115	0,02285	0,15		0,00062	0	0,00062		
1643	0,91400		0	0	0	0	0			0,91400	0,02285	0		0	0	0		

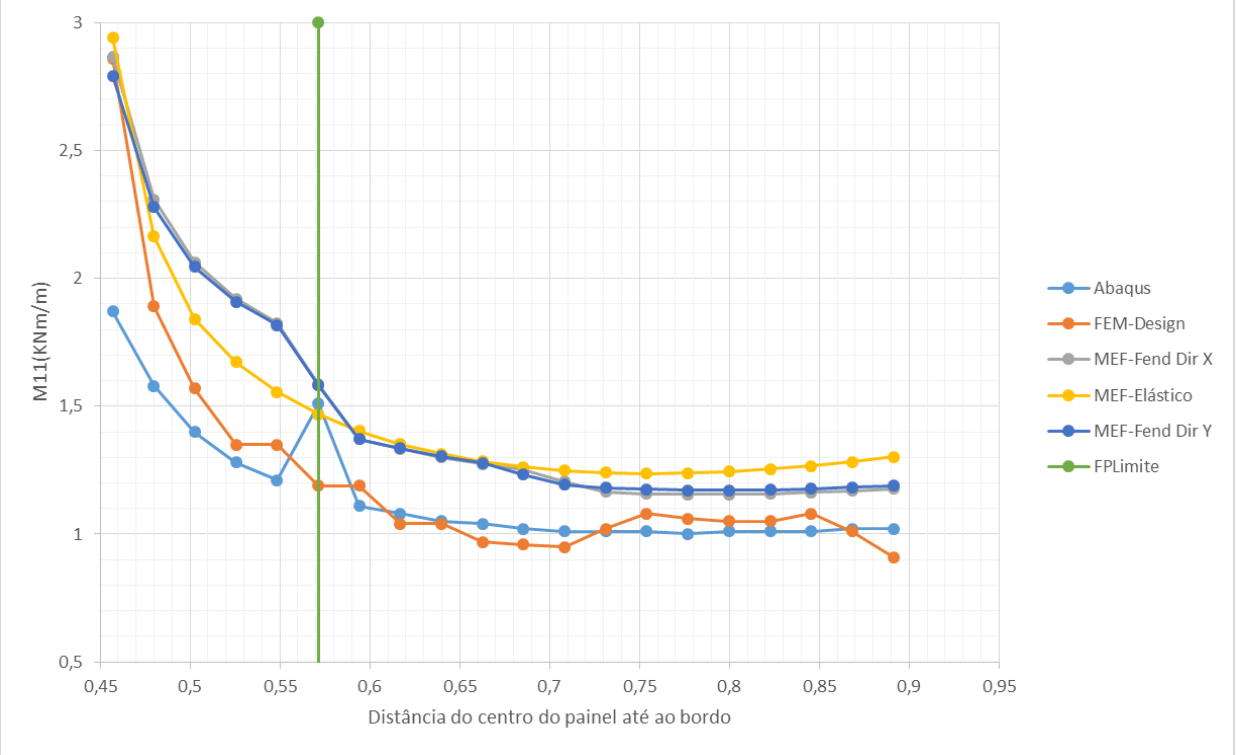


Figura 3.22 - Comparação entre os valores dos Momentos M11 (Dir X) ao longo da direção yy, dos Momentos M22 (Dir y) ao longo da direção xx e momentos elásticos obtidos pelo SAP2000 e os valores obtidos pelo Abaqus e FEM-Desing

Quadro A.7 - Valores do Momentos M11 da figura 3.22

Coordenada	Nº Elemento	MEF-Elastico	ABAQUS	FEM-Design	MEF-Fendilhação		Redução
					x	y	
0,457	1	2,94	1,87	2,86	2,87	2,79	0,95
0,47985	2	2,16	1,58	1,89	2,31	2,28	1,05
0,5027	3	1,84	1,4	1,57	2,06	2,05	1,11
0,52555	4	1,67	1,28	1,35	1,92	1,91	1,14
0,5484	5	1,55	1,21	1,35	1,82	1,82	1,17
0,57125	6	1,47	1,51	1,19	1,59	1,58	1,08
0,5941	7	1,40	1,11	1,19	1,37	1,37	0,98
0,61695	8	1,35	1,08	1,04	1,33	1,34	0,99
0,6398	9	1,31	1,05	1,04	1,30	1,30	0,99
0,66265	10	1,28	1,04	0,97	1,27	1,28	1,00
0,6855	11	1,26	1,02	0,96	1,25	1,23	0,98
0,70835	12	1,25	1,01	0,95	1,20	1,19	0,96
0,7312	13	1,24	1,01	1,02	1,17	1,18	0,95
0,75405	14	1,24	1,01	1,08	1,16	1,17	0,95
0,7769	15	1,24	1	1,06	1,15	1,17	0,95
0,79975	16	1,24	1,01	1,05	1,15	1,17	0,94
0,8226	17	1,25	1,01	1,05	1,16	1,17	0,94
0,84545	18	1,27	1,01	1,08	1,16	1,18	0,93
0,8683	19	1,28	1,02	1,01	1,17	1,18	0,92
0,89115	20	1,30	1,02	0,91	1,18	1,19	0,91

.

ANEXO B - Tabelas com Cálculo das armaduras e do estudo do efeito da fendilhação - Modelo de Estudo

Quadro B.1 - Disposições construtivas Modelo de Estudo

Disposições Construtivas				
c(m)	h(m)	Varao(mm)	A(cm²)	d(m)
0,035	0,275	16	2,011	0,232

Quadro B.2 - Parâmetros resistentes dos materiais no Modelo de Estudo

Propriedades		
fck(Kpa)	25000	16666,667
fctm(KPa)	2600	
fyk(Kpa)	500000	434782,609

Quadro B.3 - Cálculo do fator de redução de rigidez nas restantes faixas

Direcção de Momentos	Zona	GlobalX	GlobalY	M2	Direcção X				As Final	
					u	w	As			
		m	m	KN-m/m	-	-	cm²/m	Espaçamento	Solução	cm²/m
M11/M22	PILAR1	0	6	114,15	0,1272	0,1367	12,16	0,165	ø16//0,15	13,40
M11/M22	PILAR2	6	6	126,44	0,1410	0,1531	13,62	0,148	ø16//0,125	16,08
M11/M22	PILAR3	13	6	154,55	0,1723	0,1907	16,96	0,119	ø16//0,1	20,11
M11/M22	PILAR4	0	0	108,05	0,1205	0,1285	11,43	0,176	ø16//0,15	13,40
M11/M22	PILAR5	6	0	122,04	0,1360	0,1473	13,10	0,154	ø16//0,15	13,40
M11/M22	PILAR6	13	0	147,79	0,1648	0,1817	16,16	0,124	ø16//0,1	20,11
M11	MeioVaoFP	9,5	6	-53,62	0,0583	0,0603	5,36	0,375	ø10//0,125	6,28
M11/M22	Restante	-	-	-	-	-	-	-	ø10//0,15	5,24

Quadro B.4 - Disposições construtivas Modelo de Estudo

Disposições Construtivas							
Pilar	c(m)	h(m)	Varao(mm)	A(cm²)	d(mm)	As(cm²/m)	α
PILAR1	0,035	0,275	16	2,011	0,232	13,40	15
PILAR2	0,035				0,232	16,08	
PILAR3	0,035				0,232	20,11	
PILAR4	0,035				0,232	13,40	
PILAR5	0,035				0,232	13,40	
PILAR6	0,035				0,232	20,11	
MeioVaoFP	0,035		10	0,785	0,232	6,28	
Restante	0,035				0,232	5,24	

Quadro B.5 - Cálculo da rigidez antes e após fendilhação no Modelo de Estudo

Fase Não Fendilhada						Fase Fendilhada		
Zona	Ygi(m)	Ici(m4)	Mcr(KNm/m)	Med(KN.m/m)Máx	EI(KN/m²)	Ygi(m)	Ici(m4)	EI(KN/m²)
PILAR1	0,14354	1,89E-03	37,38	114,15	58588,47	0,07855	6,35E-04	19684,76
PILAR2	0,14465	1,92E-03	38,28	126,44	59487,50	0,08440	7,26E-04	22507,19
PILAR3	0,14627	1,96E-03	39,61	154,55	60794,30	0,09192	8,51E-04	26371,20
PILAR4	0,14354	1,89E-03	37,38	108,05	58588,47	0,07855	6,35E-04	19684,76
PILAR5	0,14354	1,89E-03	37,38	122,04	58588,47	0,07855	6,35E-04	19684,76
PILAR6	0,14627	1,96E-03	39,61	147,79	60794,30	0,09192	8,51E-04	26371,20
MeioVaoFP	0,14043	1,81E-03	34,95	-53,62	56084,97	0,05737	3,50E-04	10861,02
Restante	0,13995	1,80E-03	34,59	-51,66	55701,90	0,05302	3,01E-04	9339,53

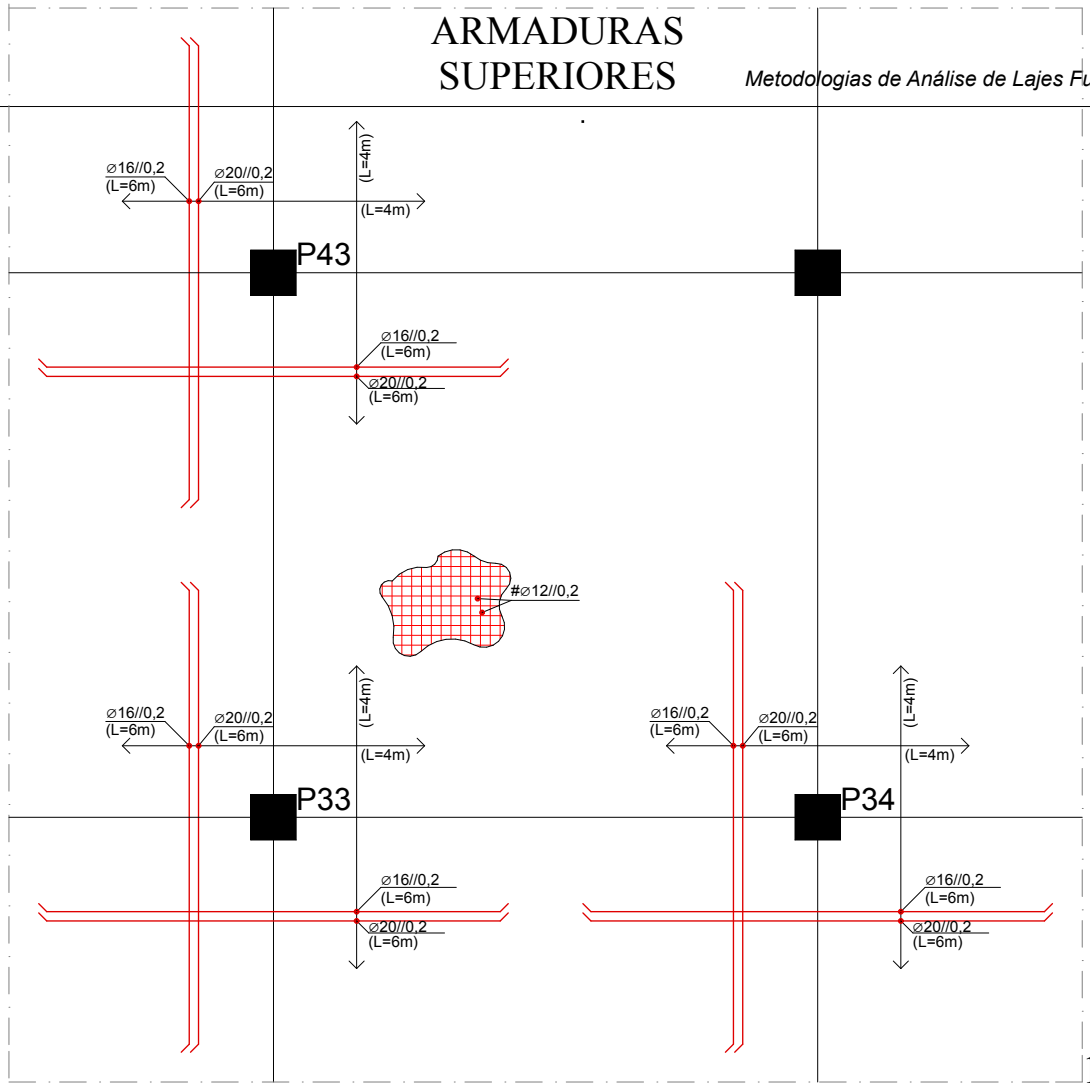
Quadro B.6 - Cálculo dos fator de redução de rigidez

Zona	X(m)	Y(m)	M11(kN.m/m)	ζm	kI	kII	km	Elm(KN/m²)	Factor
Restante	-2,5	6	0,00	0	0	0	0	55702	1
	-2	6	1,03		1,85E-05		1,85E-05		
	-1,5	6	-5,27		-9,46E-05		-9,46E-05		
	-1	6	-20,34		-3,65E-04		-3,65E-04		
	-1,85	6	34,59		6,21E-04		6,21E-04		
Pilar 1	-0,5	6	-52,48	1,14	-8,96E-04	-2,67E-03	-2,92E-03	17963	0,307
	0	6	-261,08		-4,46E-03	-1,33E-02	-1,45E-02		
	0,5	6	-46,03		-7,86E-04	-2,34E-03	-2,56E-03		
Restante	0,66	6	-34,59	0	-6,21E-04	0	-6,21E-04	55702	1
	1	6	-11,15		-2,00E-04		-2,00E-04		
	1,5	6	7,92		1,42E-04		1,42E-04		
	2	6	19,31		3,47E-04		3,47E-04		
	2,5	6	25,42		4,56E-04		4,56E-04		
	3	6	27,11		4,87E-04		4,87E-04		
	3,5	6	21,35		3,83E-04		3,83E-04		
	4	6	17,60		3,16E-04		3,16E-04		
	4,5	6	5,07		9,11E-05		9,11E-05		
	5	6	-15,76		-2,83E-04		-2,83E-04		
	5,29	6	-38,28		-6,87E-04		-6,87E-04		
Pilar2	5,5	6	-54,33	0,86	-9,13E-04	-2,41E-03	-2,21E-03	24625	0,414
	6	6	-304,62		-5,12E-03	-1,35E-02	-1,24E-02		
	6,5	6	-56,11		-9,43E-04	-2,49E-03	-2,28E-03		
Restante	6,71	6	-38,28	0	-6,87E-04	0	-6,87E-04	0	1
	7	6	-13,49		-2,42E-04		-2,42E-04		
	7,5	6	10,11		1,82E-04		1,82E-04		
	8,33	6	34,95		6,28E-04		6,28E-04		
Meio Vao	8	6	25,08	0,30	4,47E-04	2,31E-03	1,01E-03	24792	0,442
	8,5	6	34,42		6,14E-04	3,17E-03	1,39E-03		
	9	6	39,29		7,01E-04	3,62E-03	1,58E-03		
	9,5	6	40,14		7,16E-04	3,70E-03	1,62E-03		
	10	6	37,09		6,61E-04	3,41E-03	1,50E-03		
	10,5	6	30,01		5,35E-04	2,76E-03	1,21E-03		
Restante	10,29	6	34,95	0	6,28E-04	0	6,28E-04	0	1
	11	6	18,45		3,31E-04		3,31E-04		
	11,5	6	1,23		2,21E-05		2,21E-05		
	12,29	6	-39,61		-7,11E-04		-7,11E-04		
Pilar3	12	6	-24,67	0,82	-4,06E-04	-9,35E-04	-8,38E-04	29453	0,484
	12,5	6	-69,51		-1,14E-03	-2,64E-03	-2,36E-03		
	13	6	-331,31		-5,45E-03	-1,26E-02	-1,12E-02		
	13,5	6	-75,04		-1,23E-03	-2,85E-03	-2,55E-03		
	14	6	-35,39		-5,82E-04	-1,34E-03	-1,20E-03		
Restante	13,90	6	-39,61	0	-7,11E-04	0	-7,11E-04	0	1
	14,5	6	-14,94		-2,68E-04		-2,68E-04		
	15	6	-3,59		-6,45E-05		-6,45E-05		
	15,5	6	1,29		2,32E-05		2,32E-05		
	16	6	0,00		0		0		

.

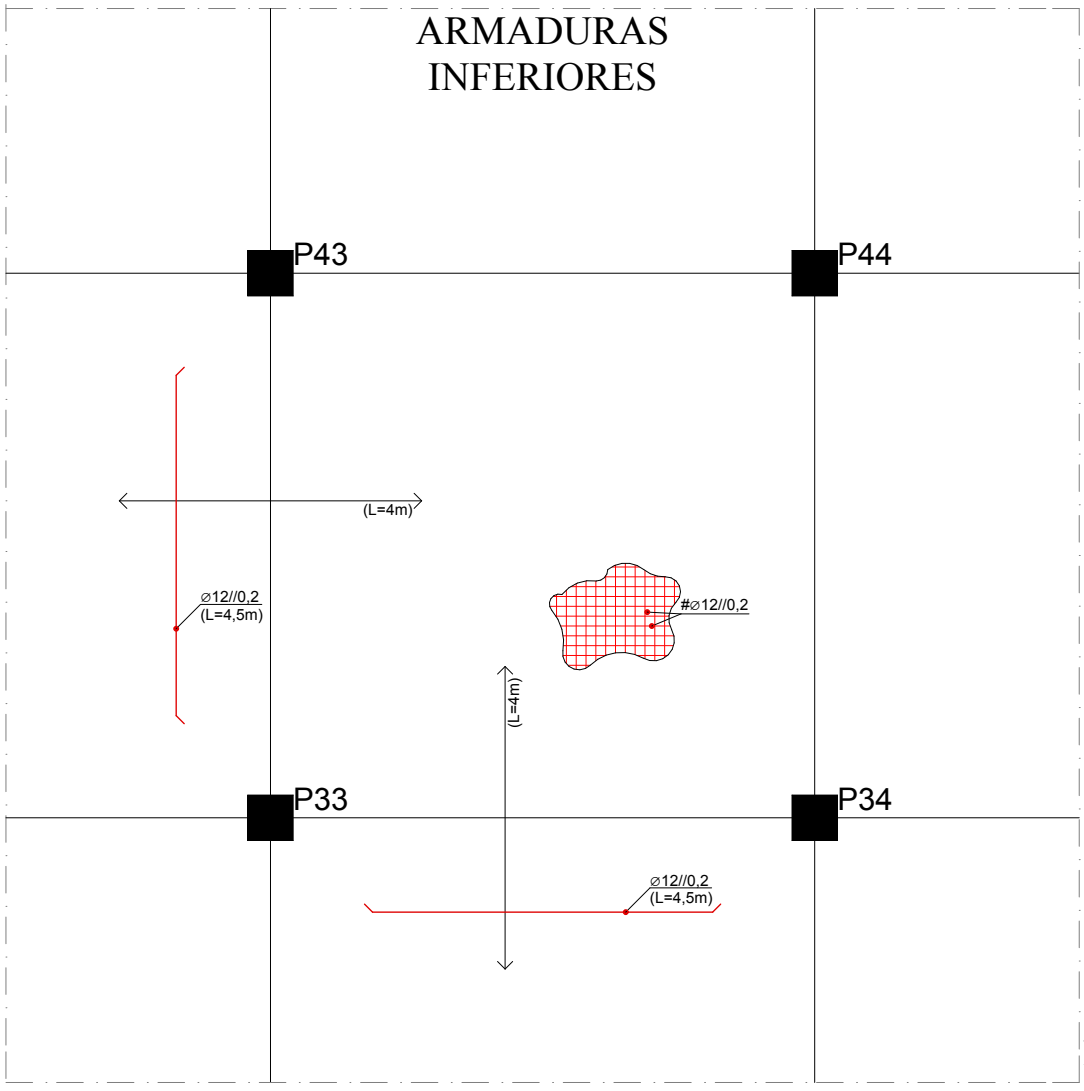
ANEXO C

ARMADURAS SUPERIORES



1:100

ARMADURAS INFERIORES



1:100

.

ANEXO D

.

ANEXO D1

PROGRAMAÇÃO

Direção XX

.

```
Option Explicit
Private Sub MetodologiasDireçãoXX()
Dim CellC As String, NodeC As Single, Node As Single
Dim Element As String, ContadorI As Single, Contador As Single
Dim Fia As Single, ca As String, EraseL As Single, countSTR As Integer
Dim elemento As Single, nome As Single
Dim a As Single, b As Single, c As String, d As Single, e As Single, f As Single, g As String
Dim M11Colunas As Single, M22Colunas As Single, M12Colunas As Single, count As Single, Fi As Single
Dim M11Media As Single, M22Media As Single, M12Media As Single
Dim M11Acumulador As Single, M22Acumulador As Single, M12Acumulador As Single, M11 As Single, M22 As Single,
M12 As Single
Dim NumeroPilar As Single, NumeroPilarNext As Single, STRpilar As String, STRpilarNext As String, NumeroNo As
Single
Dim coordenadaYPilar As Single, coordenadaXPilar As Integer, coordenadaYNo As Integer, coordenadaXNo As Integer
Dim a1 As Single, a2 As Single, a3 As Single, a4 As Single, a5 As Single, a6 As Single
Dim alinhamentos As Integer, NosAlinhamento As Single
Dim PorticoCopyXX As Single, PorticoCopyYY As Single, ContarExistentes As Single
Dim STRPortico As Single, cellXX As Single, ContarCells As Single, ContarCellsXX As Single
Dim NextPilarStr As String, largura As Single, NextPilarNum As Single
Dim EntrePilares1 As Single, EntrePilares2 As Single, DistEntrePilares As Single
Dim PilarX As Single
Dim FPcoordenadaX As Single, FPcoordenadaY As Single
Dim ElementosFP As Single, LimiteSuperior As Single, LimiteInferior As Single
Dim ElemtLimSup As Single, ElemtLimInf As Single
Dim LimSupLajeYY As Single, LimInfLajeYY As Single
Dim M11parcial As Single
Dim nolaje As Single
Dim NoHorizontal As Single
Dim M11Horizontal As Single
Dim PosicaoH As Single
Dim coordenadaAlinhamentoYY As Single, coordenadaAlinhamentoXX As Single
Dim Faixatotal As Single, EntreNosFaixa As Single
Dim NumeroNoCount As Single, STRpilarCount As String, STRpilarNextCount As String, coordenadaYPilarCount As
Single, coordenadaYNoCount As Single
Dim NumeroPilarCount As Single, alinhamentosCount As Single, PilarXCount As Single
Dim fa As Single, fb As Single
Dim PosicaoVert As Single, PosicaoHorz As Single
Dim aPosicao As Single, bPosicao As Single, mPosicao As Single
Dim TrapezioAcumulador As Single, trapezio As Single
Dim LimiteMalhaInferior As Single, LimiteMalhaSuperior As Single, h As Single
Dim PilarAnterior As Single
Dim ContadorAlinhamentoI As Single, ContadorAlinhamento As Single, STRalinhamento As String
Dim esp As Single, classe As String, Steel As Integer, MaterialSap As String
Dim diam As Single
Dim fck(8) As Single, fckJ As Integer, fckI As Integer, ClasseNome(8) As String, Material As Integer, arrayMaterial As
Single, fcd As Single, fyd As Single
Dim fctm(8) As Double
Dim Ecm(8) As Integer
Dim u(71) As Double, w(71) As Double
Dim i As Integer, j As Double
Dim STRpilarInicial As String, STRpilarFinal As String, STRpilarNext1 As String
Dim coordenadaNoY As Single, coordenadaYNoNext As Single
Dim CoordenadaPilarInicialX As Single, CoordenadaPilarFinalX As Single
Dim coordenadaAlinhamento As Single
Dim alinhamentoNumero As Single
Dim NoInicial As Single, NoNext1 As Single, NoNext2 As Single, NoFinal As Single
```

.

```
Dim PilarInicialCoordenadaX As Single, PilarFinalCoordenadaX As Single
Dim PontoInicial As Single, PontoNext As Single
Dim NoTramoInicial As Single, NoTramoFinal As Single
Dim NumNo As Single
Dim PilarEsquerda As Single, PilarDireita As Single
Dim PilarEsquerdaX As Single, PilarDireitaX As Single
Dim PilarEsquerdaSTR As String, PilarDireitaSTR As String
Dim MomentoEsquerda As Single, MomentoDireita As Single, MomentoMedio As Single, CoeficienteRdst As Single,
MgRdst As String, Rdst As Single
Dim MomentoNo As Single, Momentoa1 As Single, Momentoa2 As Single, Momentoa3a4 As Single, Momentoa5 As Single,
Momentoa6 As Single
Dim PilarEsqMomentoa1 As Single, PilarEsqMomentoa2 As Single, PilarEsqMomentoa3a4 As Single, PilarEsqMomentoa5
As Single, PilarEsqMomentoa6 As Single
Dim PilarDirMomentoa1 As Single, PilarDirMomentoa2 As Single, PilarDirMomentoa3a4 As Single, PilarDirMomentoa5 As
Single, PilarDirMomentoa6 As Single
Dim PilarEsqRdst As Single, PilarDirRdst As Single
Dim PilarEsqMomentoFC As Single, PilarEsqMomentoRdstFC As Single, PilarEsqMomentoFP As Single,
PilarEsqMomentoRdstFP As Single
Dim PilarDirMomentoFC As Single, PilarDirMomentoRdstFC As Single, PilarDirMomentoFP As Single,
PilarDirMomentoRdstFP As Single
Dim LarguraEsq As Single, LarguraDir As Single
Dim a3a4 As Single
Dim NumNoString As String
Dim LargurasA(4) As Single, PercentagensNeg(4) As Single, PercentagensPos(4) As Single, MomentosA(4) As Single,
NumLargPerc As Single
Dim CondicaoSatisfeita As Integer
Dim MomentoFPtramo As Single, MomentoRdstNoFP As Single, MomentoFPMedio As Single
Dim MomentoTramo As Single, MomentoRdstNo As Single, MomentoFPpos As Single, MomentoFPneg As Single,
MomentoRdstFP As Single, MomentoRdstFPpos As Single, MomentoRdstFPneg As Single, MomentoTramoFP As Single
Dim MomentoFCpos As Single, MomentoFCneg As Single, MomentoRdstFCpos As Single, MomentoRdstFCneg As Single,
MomentoRdstFC As Single, MomentoTramoFC As Single
Dim MomentoFCinicial As Single, MomentoFPinicial As Single
Dim MomentoEsquerdaRdst As Single, MomentoDireitaRdst As Single, MomentoMedioRdst As Single
Dim NumeroNoalinhamento As Single
Dim ArmaduraMomentoa1 As Single, ArmaduraMomentoa2 As Single, ArmaduraMomentoa3a4 As Single,
ArmaduraMomentoa5 As Single, ArmaduraMomentoa6 As Single
Dim Ua1 As Single, Ua2 As Single, Ua3a4 As Single, Ua5 As Single, Ua6 As Single
Dim Wa1 As Single, Wa2 As Single, Wa3a4 As Single, Wa5 As Single, Wa6 As Single
Dim Sct As Single, LinhaAbacos As Single, Uabacos As Double, Uinf As Single, Wsup As Single, Winf As Single, Wdim As
Single, Usup As Single
Dim LinhaAbacoNum As Single
Dim answerFaixaPilares As Integer, answerRdst As Integer, answerCalculo As Single

If ThisWorkbook.Worksheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasYY" Or ThisWorkbook.Worksheets(Sheets.count).Name =
"Program Control" Then
  answerCalculo = MsgBox("Executar o cálculo completo?", vbYesNo)
End If
If answerCalculo = vbYes Then
ThisWorkbook.Activate
If ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasYY" Then
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("Nos").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("XX").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("YY").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Delete
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Delete
```

.

```
            ThisWorkbook.Worksheets(Sheets.count).Delete
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "Elementos"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "Nos"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "XX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "YY"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "PorticosXX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "PorticosYY"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasXX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasYY"
Else
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "Elementos"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "Nos"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "XX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "YY"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "PorticosXX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "PorticosYY"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasXX"
             ThisWorkbook.Sheets.Add after:=Sheets(Sheets.count)
             ThisWorkbook.Sheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasYY"
 NodeC = 4
 CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Do While Len(CellC) > 0
   NodeC = NodeC + 1
   CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Loop
         Node = NodeC - 1
 ContadorI = 4
 Element = ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area Shells").Cells(ContadorI, 4)
Do While Len(Element) > 0
   ContadorI = ContadorI + 1
   Element = ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area Shells").Cells(ContadorI, 4)
Loop
   Contador = ContadorI - 1
EraseL = 0
For countSTR = 4 To Node
 ca = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells((countSTR), (1)).Value
   Fia = InStr(ca, "F")
  If Fia <> 0 Then
   EraseL = EraseL + 1
   ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Rows(countSTR).EntireRow.Delete
  End If
```

.

```
Next countSTR
Node = Node - EraseL
For elemento = 4 To Contador
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((elemento), 1).Value = ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area
Shells").Cells((elemento), 2).Value
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((elemento), 2).Value = ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area
Shells").Cells((elemento), 4).Value
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((elemento), 3).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area
Shells").Cells((elemento), 14).Value, 2)
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((elemento), 4).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area
Shells").Cells((elemento), 15).Value, 2)
        ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((elemento), 5).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Element Forces - Area
Shells").Cells((elemento), 16).Value, 2)
Next elemento
       ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((nome), 1).Value = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements -
Joints").Cells((nome), 1).Value
       ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((nome), 2).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements -
Joints").Cells((nome), 3).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((nome), 3).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements -
Joints").Cells((nome), 4).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((nome), 4).Value = Round(ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements -
Joints").Cells((nome), 5).Value, 2)
Next nome
 ThisWorkbook.Worksheets("Elementos").Activate
  ThisWorkbook.Worksheets("Elementos").Range(Cells(4, 1), Cells(Contador, 5)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("B4"), Order1:=xlDescending, Header:=xlNo
 ThisWorkbook.Worksheets("Nos").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("Nos").Range(Cells(4, 1), Cells(Node, 4)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("A4"), Order1:=xlDescending, Header:=xlNo
 b = 4
  For a = 4 To Node
 M11Acumulador = 0
 M22Acumulador = 0
 M12Acumulador = 0
  count = 1
   c = ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (1)).Value
   Fi = InStr(c, "F")
   If Fi = 0 Then
   Do Until c = ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((b), (2)).Value
    b = b + 1
    Loop
   Do Until c <> ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((b), (2)).Text
 M22Colunas = 9 + count
 M12Colunas = 14 + count
 M11Colunas = 4 + count
  ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M11Colunas)).Value = ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((b), (3)).Value
  ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M22Colunas)).Value = ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((b), (4)).Value
  ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M12Colunas)).Value = ThisWorkbook.Sheets("Elementos").Cells((b), (5)).Value
 M11 = ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M11Colunas)).Value
 M22 = ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M22Colunas)).Value
 M12 = ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (M12Colunas)).Value
 M11Acumulador = M11Acumulador + M11
 M22Acumulador = M22Acumulador + M22
 M12Acumulador = M12Acumulador + M12
   b = b + 1
count = count + 1
```

.

```
    Loop
    M11Media = M11Acumulador / (count - 1)
    M22Media = M22Acumulador / (count - 1)
    M12Media = M12Acumulador / (count - 1)
 ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (9)).Value = M11Media
 ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (14)).Value = M22Media
 ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((a), (19)).Value = M12Media
End If
     Next a
For momentosXXYY = 4 To Node
      ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((momentosXXYY), 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 1).Value
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((momentosXXYY), 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 2).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((momentosXXYY), 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 3).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((momentosXXYY), 4).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 4).Value, 2)
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((momentosXXYY), 5).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 9).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((momentosXXYY), 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 1).Value
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((momentosXXYY), 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 3).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((momentosXXYY), 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 2).Value, 2)
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((momentosXXYY), 4).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 4).Value, 2)
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((momentosXXYY), 5).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("Nos").Cells((momentosXXYY), 14).Value, 2)
Next momentosXXYY
 ThisWorkbook.Worksheets("XX").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("XX").Range(Cells(4, 1), Cells(Node, 5)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("A4"), Order1:=xlAscending, Header:=xlNo
 ThisWorkbook.Worksheets("XX").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("XX").Range(Cells(4, 1), Cells(Node, 5)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("C4"), Order1:=xlAscending, Header:=xlNo
 ThisWorkbook.Worksheets("YY").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("YY").Range(Cells(4, 1), Cells(Node, 5)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("A4"), Order1:=xlAscending, Header:=xlNo
 ThisWorkbook.Worksheets("YY").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("YY").Range(Cells(4, 1), Cells(Node, 5)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("C4"), Order1:=xlAscending, Header:=xlNo
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((3), 1).Value = "Nó"
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((3), 2).Value = "EixoXX"
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((3), 3).Value = "EixoXX"
       ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((3), 4).Value = "EixoZZ"
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells((3), 5).Value = "M11"
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((3), 1).Value = "Nó"
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((3), 2).Value = "EixoYY"
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((3), 3).Value = "EixoXX"
       ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((3), 4).Value = "EixoZZ"
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells((3), 5).Value = "M22"
NumeroPilar = 0
alinhamentos = 0
ContarExistentes = 4
LimSupLajeYY = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(4, 3).Value
```

.

```
LimInfLajeYY = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(Node, 3).Value
Faixatotal = 0
trapezio = 0
TrapezioAcumulador = 0
For NumeroNoCount = 4 To Node

  STRpilarCount = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNoCount, 1).Value
  STRpilarNextCount = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNoCount + 1, 1).Value
   If Left(STRpilarCount, 1) = "P" Then
  NumeroPilarCount = NumeroPilarCount + 1
      If Left(STRpilarCount, 1) <> Left(STRpilarNextCount, 1) Then
            alinhamentosCount = alinhamentosCount + 1
      End If
   End If
Next NumeroNoCount
For NumeroNo = 4 To Node
  STRpilar = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 1).Value
  STRpilarNext = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo + 1, 1).Value
  coordenadaYPilar = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNo = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
   If Left(STRpilar, 1) = "P" Then
  NumeroPilar = NumeroPilar + 1
      If Left(STRpilar, 1) <> Left(STRpilarNext, 1) Then
           alinhamentos = alinhamentos + 1
           PilarX = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 2).Value
            a1 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 3).Value
            a2 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 4).Value
            a3 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 5).Value
            a4 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 6).Value
            a5 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 7).Value
            a6 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 8).Value
              NextPilarNum = NumeroNo + 1
              NextPilarStr = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NextPilarNum, 1).Value
          Do Until Left(NextPilarStr, 1) = Left(STRpilar, 1) Or NextPilarStr = ""
            NextPilarNum = NextPilarNum + 1
            NextPilarStr = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NextPilarNum, 1).Value
           Loop
           If NextPilarStr <> "" Then 'retirar o ultimo ponto
           EntrePilares1 = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 3).Value
           EntrePilares2 = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NextPilarNum, 3).Value
           DistEntrePilares = EntrePilares2 - EntrePilares1
           End If
ContarCellsXX = 4
              Do While ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 1).Value <> ""
                   ContarExistentes = ContarExistentes + 1
              Loop
              If alinhamentos > 1 Then
              PilarAnterior = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes - 1, 6).Value
              End If
           cellXX = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
            Do Until cellXX = coordenadaYPilar
            ContarCellsXX = ContarCellsXX + 1
            cellXX = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
            Loop
            Do While cellXX = coordenadaYPilar
```

.

```
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 1).Value
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 2)
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 2)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 1).Value
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 2)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 2)
            coordenadaAlinhamentoXX = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 2)
            coordenadaAlinhamentoYY = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 2)
           TrapezioAcumulador = 0
          Faixatotal = 0
            If alinhamentos = 1 Then
            PosicaoH = 9
            For ElementosFP = 4 To Node
            If a6 = 0 Then
            LimiteInferior = a5 + a4
            ElseIf a6 = 0 And a5 = 0 Then
            LimiteInferior = a4
            ElseIf a6 = 0 And a5 = 0 And a4 = 0 Then
            LimiteInferior = 0
            End If
            LimiteSuperior = a1 + a2 + a3
            LimiteInferior = LimiteInferior * (-1)
            FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 2), 2)
            FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 3), 2)
            M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5)
            M11Horizontal = 4
            If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY <= LimiteSuperior Then
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5).Value
            If PosicaoH > 9 Then
            LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
            h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
            fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
            fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
            trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
           TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
          Faixatotal = Faixatotal + h
            LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
            ElseIf PosicaoH = 9 Then
            LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
            End If
            PosicaoH = PosicaoH + 1
            If (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal <= 0.55 And (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal > 0.1 Then
            trapezio = fb * ((a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal)
            TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
            Faixatotal = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6
             End If
            End If
           Next ElementosFP
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
```

.

```
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
ElseIf alinhamentos > 1 And alinhamentos < alinhamentosCount Then
PosicaoH = 9
For ElementosFP = 4 To Node
LimiteSuperior = Round(coordenadaYPilar + (a1 + a2 + a3), 4)
LimiteInferior = Round(coordenadaYPilar - (a4 + a5 + a6), 4)
FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 2), 2)
FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 3), 2)
M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5)
M11Horizontal = 4
If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY >= LimiteInferior And FPcoordenadaY <=
LimiteSuperior Then
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5).Value
If PosicaoH > 9 Then
LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
Faixatotal = Faixatotal + h
LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
ElseIf PosicaoH = 9 Then
LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
h = LimiteMalhaInferior - LimiteInferior
fb = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5).Value
If h <= 0.575 And h > 0.1 Then
trapezio = fb * (h)
Faixatotal = h
TrapezioAcumulador = trapezio
End If

End If
PosicaoH = PosicaoH + 1
If (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal <= 0.575 And (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal > 0.1 Then
trapezio = fb * ((a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal)
TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
Faixatotal = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6
End If
End If
Next ElementosFP
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
```

.

```
            ElseIf alinhamentos = alinhamentosCount Then
                PosicaoH = 9
            For ElementosFP = 4 To Node
            LimiteSuperior = Round(coordenadaYPilar + (a1 + a2 + a3), 4)
            LimiteInferior = Round(coordenadaYPilar - (a4 + a5 + a6), 4)
            FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 2), 2)
            FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 3), 2)
            M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5)
            M11Horizontal = 4
            If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY >= LimiteInferior Then
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5).Value
            If PosicaoH > 9 Then
            LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
            h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
            fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
            fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
            trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
           TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
           Faixatotal = Faixatotal + h
            LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
            ElseIf PosicaoH = 9 Then
            LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
            h = LimiteMalhaInferior - LimiteInferior
            fb = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ElementosFP, 5).Value
            If h <= 0.55 And h > 0.1 Then
            trapezio = fb * (h)
            TrapezioAcumulador = trapezio
            End If
            End If
            PosicaoH = PosicaoH + 1
            End If
            Next ElementosFP
        Faixatotal = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
             ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
            End If
            ContarExistentes = ContarExistentes + 1
            ContarCellsXX = ContarCellsXX + 1
            cellXX = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
            Loop
      End If
   End If
Next NumeroNo
End If
ThisWorkbook.Activate



esp = ThisWorkbook.Sheets("Area Section Properties").Cells(4, 7).Value 'Espessura da laje
```

.

```
MaterialSap = ThisWorkbook.Sheets("Area Section Properties").Cells(4, 2).Value
c = InputBox("Introduzir o Valor do Recobrimento em m") 'recobrimento m
diam = InputBox("Introduziro Diâmetro do Vãrao em m") 'diametro do varao m
Steel = InputBox("Classe de Resistência do Aço em MPa  (S500 ou S400)" & vbNewLine & vbNewLine & " Introduzir o valor númerico   S...")     ' classe de aço
d = esp - (c + (diam / 2))
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 1).Value = "Nó"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 2).Value = "X"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 3).Value = "Y"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 4).Value = "LimiteInferior"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 5).Value = "Faixa"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 6).Value = "LimiteSuperior"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 7).Value = "Mg"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 8).Value = "MgRdst"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 9).Value = "a1"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 10).Value = "a2"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 11).Value = "a3+a4"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 12).Value = "a5"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 13).Value = "a6"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 14).Value = "FP"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 15).Value = "FC"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 16).Value = "M(a1)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 17).Value = "M(a2)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 18).Value = "M(a3+a4)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 19).Value = "M(a5)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(3, 20).Value = "M(a6)"
ClasseNome(0) = "C12/15"
ClasseNome(1) = "C16/20"
ClasseNome(2) = "C20/25"
ClasseNome(3) = "C25/30"
ClasseNome(4) = "C30/37"
ClasseNome(5) = "C35/40"
ClasseNome(6) = "C40/45"
ClasseNome(7) = "C45/50"
ClasseNome(8) = "C50/55"
For Material = 0 To 8
If ClasseNome(Material) = MaterialSap Then
arrayMaterial = Material
End If
Next Material
fckJ = 20
fck(0) = 12
fck(1) = 16
fck(2) = 20
For fckI = 3 To 8
fckJ = fckJ + 5
fck(fckI) = fckJ
Next fckI
fcd = Round(fck(arrayMaterial) / 1.5, 7) * 10 ^ 3
fyd = Round(Steel / 1.15, 7) * 10 ^ 3
fctm(0) = 1.6
fctm(1) = 1.9
fctm(2) = 2.2
fctm(3) = 2.6
fctm(4) = 2.9
fctm(5) = 3.2
```

.

```
fctm(6) = 3.5
fctm(7) = 3.8
fctm(8) = 4.1
Ecm(0) = 27
Ecm(1) = 29
Ecm(2) = 30
Ecm(3) = 31
Ecm(4) = 33
Ecm(5) = 34
Ecm(6) = 35
Ecm(7) = 36
Ecm(8) = 37
j = 0
u(0) = 0
u(1) = 0.005
For i = 1 To 70
j = j + 0.005
u(i) = j
Next i
u(71) = 0
w(0) = 0
w(1) = 0.005
w(2) = 0.01
w(3) = 0.015
w(4) = 0.02
w(5) = 0.026
w(6) = 0.031
w(7) = 0.036
w(8) = 0.041
w(9) = 0.046
w(10) = 0.052
w(11) = 0.057
w(12) = 0.062
w(13) = 0.067
w(14) = 0.073
w(15) = 0.078
w(16) = 0.084
w(17) = 0.089
w(18) = 0.095
w(19) = 0.1
w(20) = 0.106
w(21) = 0.111
w(22) = 0.117
w(23) = 0.123
w(24) = 0.128
w(25) = 0.134
w(26) = 0.14
w(27) = 0.146
w(28) = 0.152
w(29) = 0.158
w(30) = 0.164
w(31) = 0.17
w(32) = 0.176
w(33) = 0.182
w(34) = 0.188
w(35) = 0.194
```

.

```
w(36) = 0.201
w(37) = 0.207
w(38) = 0.213
w(39) = 0.22
w(40) = 0.226
w(41) = 0.233
w(42) = 0.239
w(43) = 0.246
w(44) = 0.253
w(45) = 0.26
w(46) = 0.266
w(47) = 0.273
w(48) = 0.28
w(49) = 0.287
w(50) = 0.295
w(51) = 0.302
w(52) = 0.309
w(53) = 0.316
w(54) = 0.324
w(55) = 0.331
w(56) = 0.339
w(57) = 0.347
w(58) = 0.355
w(59) = 0.362
w(60) = 0.37
w(61) = 0.379
w(62) = 0.387
w(63) = 0.395
w(64) = 0.404
w(65) = 0.412
w(66) = 0.421
w(67) = 0.43
w(68) = 0.439
w(69) = 0.448
w(70) = 0.458
w(71) = 0
 NodeC = 4
 CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Do While Len(CellC) > 0
   NodeC = NodeC + 1
   CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Loop
          Node = NodeC - 1
 ContadorAlinhamentoI = 4
 STRalinhamento = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContadorAlinhamentoI, 4)
Do While STRalinhamento <> ""
   ContadorAlinhamentoI = ContadorAlinhamentoI + 1
   STRalinhamento = ThisWorkbook.Sheets("PorticosXX").Cells(ContadorAlinhamentoI, 4)
Loop
  ContadorAlinhamento = ContadorAlinhamentoI - 1
 ThisWorkbook.Worksheets("ArmadurasXX").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("ArmadurasXX").Range(Cells(4, 1), Cells(ContadorAlinhamento, 7)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("C4"), Order1:=xlAscending, key2:=Range("B4"), Order2:=xlAscending, Header:=xlNo
alinhamentos = 0
For NumeroNo = 4 To Node
   STRpilar = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 1).Value
```

.

```
  STRpilarNext = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo + 1, 1).Value
  coordenadaYPilar = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNo = ThisWorkbook.Sheets("XX").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
   If Left(STRpilar, 1) = "P" Then
  NumeroPilar = NumeroPilar + 1
      If Left(STRpilar, 1) <> Left(STRpilarNext, 1) Then
           alinhamentos = alinhamentos + 1
      End If
   End If
Next NumeroNo
NumNo = 4
NumeroNo = 3
NoInicial = 4
NoFinal = 4
For alinhamentoNumero = 1 To alinhamentos
NumeroNo = NumeroNo + 1
NoInicial = NumeroNo
           MsgBox "Número do Alinhamento " & ": " & alinhamentoNumero
           answerFaixaPilares = MsgBox("Redistribuição apenas na Faixa dos Pilares?", vbYesNo)
           answerRdst = MsgBox("Coeficiente de Redistribuição de 0,2?", vbYesNo, "Redistribuição")
           If answerRdst = vbNo Then
            Rdst = InputBox("Introduzir coeficiente de redistribuição", "Redistribuição", "Caso não pretenda incluir
Redistribuição, introduzir o valor 0 ")
            End If
            a1 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 3).Value
            a2 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 4).Value
            a3 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 5).Value
            a4 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 6).Value
            a5 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 7).Value
            a6 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 8).Value
MsgBox (alinhamentoNumero)
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Do While coordenadaNoY = coordenadaYNoNext
  NumeroNo = NumeroNo + 1
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Loop
  STRpilarInicial = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoInicial, 1).Value
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Do While Left(STRpilarInicial, 1) <> "P"
NoInicial = NoInicial + 1
STRpilarInicial = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoInicial, 1).Value
Loop
CoordenadaPilarInicialX = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoInicial, 2).Value

NoFinal = NumeroNo
STRpilarFinal = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoFinal, 1).Value
Do While Left(STRpilarFinal, 1) <> "P"
   NoFinal = NoFinal - 1
   STRpilarFinal = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoFinal, 1).Value
Loop
CoordenadaPilarFinalX = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NoFinal, 2).Value
NumNo = NoInicial
Do While NumNo <= NumeroNo
```

.

```
NumNoString = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 1).Value
  coordenadaAlinhamento = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 2).Value
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 9).Value = Round(a1, 3)
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 10).Value = Round(a2, 3)
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 11).Value = Round(a3 + a4, 3)
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 12).Value = Round(a5, 3)
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 13).Value = Round(a6, 3)
 If coordenadaAlinhamento > CoordenadaPilarInicialX And coordenadaAlinhamento < CoordenadaPilarFinalX Then
  PilarEsquerda = NumNo
  PilarEsquerdaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 1)
     Do While Left(PilarEsquerdaSTR, 1) <> "P"
     PilarEsquerda = PilarEsquerda - 1
      PilarEsquerdaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 1)
   Loop
  PilarDireita = NumNo
  PilarDireitaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 1)
     Do While Left(PilarDireitaSTR, 1) <> "P"
     PilarDireita = PilarDireita + 1
      PilarDireitaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 1)
   Loop
      If PilarEsquerdaSTR = STRpilarInicial And Left(NumNoString, 1) <> "P" Then
      If answerRdst = vbYes Then

         CoeficienteRdst = 0.2
       ElseIf answerRdst = vbNo Then
       CoeficienteRdst = Rdst
       End If
       MomentoTramo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
       MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 7).Value
        If MomentoNo < 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
       MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
       ElseIf MomentoNo >= 0 Then
       MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45
              MomentoFPtramo = MomentoTramo * 0.75
              MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + Abs(MomentoFPtramo * CoeficienteRdst)
       End If
       If MomentoRdstNo < 0 Then
       MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
       MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
       MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
       MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
       MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
       MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
       MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
       MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
        End If
    PilarEsqRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
```

.

```
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * PilarEsqRdst
    PilarDirRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 8).Value = PilarDirRdst

    PilarDirMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * PilarDirRdst
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * PilarDirRdst
 If answerFaixaPilares = vbNo Then
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
Else

         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
End If
      ElseIf PilarEsquerdaSTR <> STRpilarInicial And PilarDireitaSTR <> STRpilarFinal And Left(NumNoString, 1) <> "P"
Then
       If answerRdst = vbYes Then
          CoeficienteRdst = 0.2
        ElseIf answerRdst = vbNo Then
        CoeficienteRdst = Rdst
        End If
         MomentoEsquerda = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
         MomentoDireita = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
         MomentoMedio = (MomentoEsquerda + MomentoDireita) / 2
         MomentoEsquerdaRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value * (1 -
CoeficienteRdst)
         MomentoDireitaRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value * (1 - CoeficienteRdst)
         MomentoMedioRdst = (MomentoEsquerda * CoeficienteRdst + MomentoDireita * CoeficienteRdst) / 2
        MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 7).Value
        If MomentoNo < 0 Then
          MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoMedioRdst)
        MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
        MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
        MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
        ElseIf MomentoNo >= 0 Then
          MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoMedioRdst)
        MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
        MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45
                MomentoFPMedio = (Abs(MomentoEsquerda) * 0.75 + Abs(MomentoDireita) * 0.75) * CoeficienteRdst / 2
                MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + MomentoFPMedio
        End If
```

.

```
        If MomentoRdstNo < 0 Then
        MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
        MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoRdstNo
        ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
       MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
       MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoRdstNo
         End If
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = MomentoEsquerdaRdst
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 8).Value = MomentoDireitaRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * MomentoEsquerda
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * MomentoEsquerda
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * MomentoEsquerdaRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * MomentoEsquerdaRdst
    PilarDirMomentoFC = 0.25 * MomentoDireita
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * MomentoDireita
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * MomentoDireitaRdst
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * MomentoDireitaRdst
If answerFaixaPilares = vbNo Then
          ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
          ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
Else
          ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
          ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
End If
      ElseIf PilarDireitaSTR = STRpilarFinal And Left(NumNoString, 1) <> "P" Then
      If answerRdst = vbYes Then
         CoeficienteRdst = 0.2
       ElseIf answerRdst = vbNo Then
       CoeficienteRdst = Rdst
       End If
       MomentoTramo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
       MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 7).Value
        If MomentoNo < 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
       MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
       ElseIf MomentoNo >= 0 Then
       MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45
              MomentoFPtramo = MomentoTramo * 0.75
```

.

```
            MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + Abs(MomentoFPtramo * CoeficienteRdst)
        End If
        If MomentoRdstNo < 0 Then
        MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
        MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
        ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
        MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
        MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
         End If
    PilarDirRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 8).Value = PilarDirRdst
    PilarDirMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * PilarDirRdst
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * PilarDirRdst
    PilarEsqRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * PilarEsqRdst
 If answerFaixaPilares = vbNo Then
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
Else
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC


End If
End If
End If
NumNo = NumNo + 1
Loop
NumNo = NumNo - 1
Next alinhamentoNumero
For NumeroNoalinhamento = 4 To NumNo
     MgRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 8).Value
If MgRdst = "" Then
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 9).Value = 0
```

.

```
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 10).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 11).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 12).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 13).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 16).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 17).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 18).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 19).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 20).Value = 0
End If
Next NumeroNoalinhamento
For NumeroNoalinhamento = 4 To NumNo
    a1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 9).Value
    a2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 10).Value
    a3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 11).Value
    a5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 12).Value
    a6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 13).Value
If a1 = 0 And a2 = 0 And a3a4 = 0 And a5 = 0 And a6 = 0 Then
Momentoa1 = 0
Momentoa2 = 0
Momentoa3a4 = 0
Momentoa5 = 0
Momentoa6 = 0
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
Else
If a1 = 0 Then
Momentoa6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value / a6
Momentoa1 = 0
Ua6 = Abs(Momentoa6) / ((d ^ 2) * fcd)
Ua1 = 0
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua6 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua6 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa6 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa1 = 0
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
ElseIf a6 = 0 Then
Momentoa6 = 0
Momentoa1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value / a1
Ua1 = Abs(Momentoa1) / (d ^ 2 * fcd)
Ua6 = 0
LinhaAbacos = 0
```

.

```
Do Until Ua1 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua1 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa1 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa6 = 0
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
Else
Momentoa6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value * 0.5 / a6
Momentoa1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value * 0.5 / a1
Ua1 = Abs(Momentoa1) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua1 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua1 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa1 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
End If
Ua6 = Abs(Momentoa6) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua6 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua6 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa6 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
End If
If ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value < 0 Then
If a2 = 0 Then
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = 0
Momentoa5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 3) / a5
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
```

.

```
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua5 = Abs(Momentoa5) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua5 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua5 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa5 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
ArmaduraMomentoa2 = 0
ElseIf a5 = 0 Then
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 3) / a2
Momentoa5 = 0
Ua3a4 = Momentoa3a4 / (a3a4 * d * fcd)
Ua2 = Momentoa2 / (a2 * d * fcd)
Ua5 = 0
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua2 = Abs(Momentoa2) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua2 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
```

.

```
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua2 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa2 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa2 = 0
End If
ArmaduraMomentoa5 = 0
Else
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 6) / a2
Momentoa5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 6) / a5
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua2 = Abs(Momentoa2) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua2 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua2 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa2 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa2 = 0
End If
Ua5 = Abs(Momentoa5) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua5 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua5 - Uinf) + Winf
```

.

```
ArmaduraMomentoa5 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
End If
Else
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value / (a2 + a3a4 + a5)
Momentoa2 = 0
Momentoa5 = 0
Ua2 = 0
Ua5 = 0
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
End If
End If
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 16).Value = Momentoa1
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 17).Value = Momentoa2
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 18).Value = Momentoa3a4
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 19).Value = Momentoa5
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 20).Value = Momentoa6
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 21).Value = ArmaduraMomentoa1
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 22).Value = ArmaduraMomentoa2
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 23).Value = ArmaduraMomentoa3a4
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 24).Value = ArmaduraMomentoa5
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasXX").Cells(NumeroNoalinhamento, 25).Value = ArmaduraMomentoa6
Next NumeroNoalinhamento
ThisWorkbook.Activate
 End Sub
```

.

ANEXO D2

PROGRAMAÇÃO

Direção YY

.

```
Sub MetodologiasDireçãoYY()
Dim CellC As String, NodeC As Single, Node As Single
Dim NumeroPilar As Single, NumeroPilarNext As Single, STRpilar As String, STRpilarNext As String, NumeroNo As
Single
Dim coordenadaYPilar As Single, coordenadaXPilar As Integer, coordenadaYNo As Integer, coordenadaXNo As Integer
Dim alinhamentos As Integer, NosAlinhamento As Single
Dim PorticoCopyXX As Single, PorticoCopyYY As Single, ContarExistentes As Single
Dim STRPortico As Single, cellXX As Single, ContarCells As Single, ContarCellsXX As Single
Dim NextPilarStr As String, largura As Single, NextPilarNum As Single
Dim EntrePilares1 As Single, EntrePilares2 As Single, DistEntrePilares As Single
Dim PilarX As Single
Dim a1 As Single, a2 As Single, a3 As Single, a4 As Single, a5 As Single, a6 As Single
Dim FPcoordenadaX As Single, FPcoordenadaY As Single
Dim ElementosFP As Single, LimiteSuperior As Single, LimiteInferior As Single
Dim ElemtLimSup As Single, ElemtLimInf As Single
Dim LimSupLajeYY As Single, LimInfLajeYY As Single
Dim M11parcial As Single
Dim nolaje As Single
Dim NoHorizontal As Single
Dim M11Horizontal As Single
Dim PosicaoH As Single
Dim coordenadaAlinhamentoYY As Single, coordenadaAlinhamentoXX As Single
Dim Faixatotal As Single, EntreNosFaixa As Single, FaixaEsquerda As Single, FaixaDireita As Single
Dim NumeroNoCount As Single, STRpilarCount As String, STRpilarNextCount As String, coordenadaYPilarCount As
Single, coordenadaYNoCount As Single
Dim NumeroPilarCount As Single, alinhamentosCount As Single, PilarXCount As Single
Dim a As Single, b As Single, fa As Single, fb As Single
Dim PosicaoVert As Single, PosicaoHorz As Single
Dim aPosicao As Single, bPosicao As Single, mPosicao As Single
Dim TrapezioAcumulador As Single, trapezio As Single
Dim LimiteMalhaInferior As Single, LimiteMalhaSuperior As Single, h As Single
Dim PilarAnterior As Single
Dim Rdst As Single
Dim esp As Single, classe As String, Steel As Integer, d As Single, c As Single, MaterialSap As String
Dim diam As Single
Dim fck(8) As Single, fckJ As Integer, fckI As Integer, ClasseNome(8) As String, Material As Integer, arrayMaterial As
Single, fcd As Single, fyd As Single
Dim fctm(8) As Double
Dim Ecm(8) As Integer
Dim u(71) As Double, w(71) As Double
Dim i As Integer, j As Double
Dim ContadorAlinhamentoI As Single, ContadorAlinhamento As Single
Dim STRalinhamento As String
Dim STRpilarInicial As String, STRpilarFinal As String, STRpilarNext1 As String
Dim coordenadaNoY As Single, coordenadaYNoNext As Single
Dim CoordenadaPilarInicialX As Single, CoordenadaPilarFinalX As Single
Dim coordenadaAlinhamento As Single
Dim alinhamentoNumero As Single
```

.

```
Dim NoInicial As Single, NoNext1 As Single, NoNext2 As Single, NoFinal As Single
Dim PilarInicialCoordenadaX As Single, PilarFinalCoordenadaX As Single
Dim PontoInicial As Single, PontoNext As Single
Dim NoTramoInicial As Single, NoTramoFinal As Single
Dim NumNo As Single
Dim PilarEsquerda As Single, PilarDireita As Single
Dim PilarEsquerdaX As Single, PilarDireitaX As Single
Dim PilarEsquerdaSTR As String, PilarDireitaSTR As String
Dim MomentoEsquerda As Single, MomentoDireita As Single, MomentoMedio As Single, CoeficienteRdst As Single,
MgRdst As String
Dim MomentoNo As Single, Momentoa1 As Single, Momentoa2 As Single, Momentoa3a4 As Single, Momentoa5 As Single,
Momentoa6 As Single
Dim PilarEsqMomentoa1 As Single, PilarEsqMomentoa2 As Single, PilarEsqMomentoa3a4 As Single, PilarEsqMomentoa5
As Single, PilarEsqMomentoa6 As Single
Dim PilarDirMomentoa1 As Single, PilarDirMomentoa2 As Single, PilarDirMomentoa3a4 As Single, PilarDirMomentoa5 As
Single, PilarDirMomentoa6 As Single
Dim PilarEsqRdst As Single, PilarDirRdst As Single
Dim PilarEsqMomentoFC As Single, PilarEsqMomentoRdstFC As Single, PilarEsqMomentoFP As Single,
PilarEsqMomentoRdstFP As Single
Dim PilarDirMomentoFC As Single, PilarDirMomentoRdstFC As Single, PilarDirMomentoFP As Single,
PilarDirMomentoRdstFP As Single
Dim LarguraEsq As Single, LarguraDir As Single
Dim NumNoString As String
Dim LargurasA(4) As Single, PercentagensNeg(4) As Single, PercentagensPos(4) As Single, MomentosA(4) As Single,
NumLargPerc As Single
Dim CondicaoSatisfeita As Integer
Dim MomentoFPtramo As Single, MomentoRdstNoFP As Single, MomentoFPMedio As Single
Dim MomentoTramo As Single, MomentoRdstNo As Single, MomentoFPpos As Single, MomentoFPneg As Single,
MomentoRdstFP As Single, MomentoRdstFPpos As Single, MomentoRdstFPneg As Single, MomentoTramoFP As Single
Dim MomentoFCpos As Single, MomentoFCneg As Single, MomentoRdstFCpos As Single, MomentoRdstFCneg As Single,
MomentoRdstFC As Single, MomentoTramoFC As Single
Dim MomentoFCinicial As Single, MomentoFPinicial As Single
Dim MomentoEsquerdaRdst As Single, MomentoDireitaRdst As Single, MomentoMedioRdst As Single
Dim NumeroNoalinhamento As Single
Dim ArmaduraMomentoa1 As Single, ArmaduraMomentoa2 As Single, ArmaduraMomentoa3a4 As Single,
ArmaduraMomentoa5 As Single, ArmaduraMomentoa6 As Single
Dim Ua1 As Single, Ua2 As Single, Ua3a4 As Single, Ua5 As Single, Ua6 As Single
Dim Wa1 As Single, Wa2 As Single, Wa3a4 As Single, Wa5 As Single, Wa6 As Single
Dim Sct As Single, LinhaAbacos As Single, Uabacos As Double, Uinf As Single, Wsup As Single, Winf As Single, Wdim As
Single, Usup As Single
Dim LinhaAbacoNum As Single
Dim answerFaixa As Single, answerRdst As Single, answerCalculo As Single
 NodeC = 4
 CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Do While Len(CellC) > 0
   NodeC = NodeC + 1
   CellC = ThisWorkbook.Sheets("Objects And Elements - Joints").Cells(NodeC, 1)
Loop
         Node = NodeC - 1
If ThisWorkbook.Worksheets(Sheets.count).Name = "ArmadurasYY" Then
 answerCalculo = MsgBox("Refazer o cálculo completo?", vbYesNo)
  End If
```

.

```
If answerCalculo = vbYes Then
NumeroPilar = 0
alinhamentos = 0
ContarExistentes = 4
LimSupLajeYY = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(4, 3).Value
LimInfLajeYY = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(Node, 3).Value
Faixatotal = 0
trapezio = 0
TrapezioAcumulador = 0
For NumeroNoCount = 4 To Node
STRpilarCount = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNoCount, 1).Value
STRpilarNextCount = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNoCount + 1, 1).Value
If Left(STRpilarCount, 1) = "P" Then
 NumeroPilarCount = NumeroPilarCount + 1
     If Left(STRpilarCount, 1) <> Left(STRpilarNextCount, 1) Then
          alinhamentosCount = alinhamentosCount + 1
     End If
  End If
Next NumeroNoCount
For NumeroNo = 4 To Node
  STRpilar = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 1).Value
  STRpilarNext = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo + 1, 1).Value
  coordenadaYPilar = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNo = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
   If Left(STRpilar, 1) = "P" Then
  NumeroPilar = NumeroPilar + 1
     If Left(STRpilar, 1) <> Left(STRpilarNext, 1) Then
          PilarX = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 2).Value
           a1 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 10).Value
           a2 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 11).Value
           a3 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 12).Value
           a4 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 13).Value
           a5 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 14).Value
           a6 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentos, 15).Value
             NextPilarNum = NumeroNo + 1
             NextPilarStr = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NextPilarNum, 1).Value
         Do Until Left(NextPilarStr, 1) = Left(STRpilar, 1) Or NextPilarStr = ""
           NextPilarNum = NextPilarNum + 1
           NextPilarStr = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NextPilarNum, 1).Value
          Loop



          If NextPilarStr <> "" Then 'retirar o ultimo ponto
          EntrePilares1 = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 3).Value
          EntrePilares2 = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NextPilarNum, 3).Value
          DistEntrePilares = EntrePilares2 - EntrePilares1
          End If
ContarCellsXX = 4
            Do While ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 1).Value <>
                 ContarExistentes = ContarExistentes + 1
```

.

```
            Loop
            If alinhamentos > 1 Then
            PilarAnterior = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes - 1, 6).Value
            End If
          cellXX = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
           Do Until cellXX = coordenadaYPilar
           ContarCellsXX = ContarCellsXX + 1
           cellXX = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
           Loop
           Do While cellXX = coordenadaYPilar
           ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 1).Value
           ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 4)
           ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 4)
           ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 1).Value =
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 1).Value
           ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 2).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 4)
           ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 3).Value =
Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 4)
           coordenadaAlinhamentoXX = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 2).Value, 4)
           coordenadaAlinhamentoYY = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value, 4)
          TrapezioAcumulador = 0
         Faixatotal = 0
           If alinhamentos = 1 Then
           PosicaoH = 9
           For ElementosFP = 4 To Node
           If a1 = 0 Then
           LimiteInferior = a2 + a3
           ElseIf a1 = 0 And a2 = 0 Then
           LimiteInferior = a3
           ElseIf a1 = 0 And a2 = 0 And a3 = 0 Then
           LimiteInferior = 0
           End If

           LimiteSuperior = a4 + a5 + a6
           LimiteInferior = LimiteInferior * (-1)
           FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 2), 4)
           FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 3), 4)
           M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5)
           M11Horizontal = 4
           If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY <= LimiteSuperior Then
           ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5).Value
           If PosicaoH > 9 Then
           LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
           h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
           fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
           fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
           trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
```

.

```
            TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
            Faixatotal = Faixatotal + h
             LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
             ElseIf PosicaoH = 9 Then
             LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
             End If
             PosicaoH = PosicaoH + 1
             If (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal <= 0.5 And (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal > 0.1 Then
             trapezio = fb * ((a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal)
             TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
             Faixatotal = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6
              End If
            End If
            Next ElementosFP
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
              ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
              ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)

             ElseIf alinhamentos > 1 And alinhamentos < alinhamentosCount Then
             PosicaoH = 9
             For ElementosFP = 4 To Node
             LimiteSuperior = Round(coordenadaYPilar + (a4 + a5 + a6), 4)
             LimiteInferior = Round(coordenadaYPilar - (a1 + a2 + a3), 4)
             FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 2), 4)
             FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 3), 4)
             M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5)
             M11Horizontal = 4
             If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY >= LimiteInferior And FPcoordenadaY <=
LimiteSuperior Then
             ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5).Value
             If PosicaoH > 9 Then
             LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
             h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
             fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
             fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
             trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
            TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
            Faixatotal = Faixatotal + h
             LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
             ElseIf PosicaoH = 9 Then
             LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
             h = LimiteMalhaInferior - LimiteInferior
             fb = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5).Value
             If h <= 0.575 And h > 0.1 Then
             trapezio = fb * (h)
             Faixatotal = h
```

```
TrapezioAcumulador = trapezio
End If
End If
PosicaoH = PosicaoH + 1
If (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal <= 0.575 And (a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal > 0.1 Then
trapezio = fb * ((a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6) - Faixatotal)
TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
Faixatotal = a1 + a2 + a3 + a4 + a5 + a6
 End If
End If
Next ElementosFP
ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
 ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
 ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
ElseIf alinhamentos = alinhamentosCount Then
    PosicaoH = 9
For ElementosFP = 4 To Node
LimiteSuperior = Round(coordenadaYPilar + (a4 + a5 + a6), 4)
LimiteInferior = Round(coordenadaYPilar - (a1 + a2 + a3), 4)
FPcoordenadaX = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 2), 4)
FPcoordenadaY = Round(ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 3), 4)
M11parcial = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5)
M11Horizontal = 4
If coordenadaAlinhamentoXX = FPcoordenadaX And FPcoordenadaY >= LimiteInferior Then
ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value =
ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5).Value
If PosicaoH > 9 Then
LimiteMalhaSuperior = Abs(FPcoordenadaY)
h = Abs(LimiteMalhaSuperior - LimiteMalhaInferior)
fa = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH - 1).Value
fb = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, PosicaoH).Value
trapezio = ((fa + fb) / 2) * h
TrapezioAcumulador = TrapezioAcumulador + trapezio
Faixatotal = Faixatotal + h
LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
ElseIf PosicaoH = 9 Then
LimiteMalhaInferior = Abs(FPcoordenadaY)
End If
PosicaoH = PosicaoH + 1
h = LimiteMalhaInferior - LimiteInferior
fb = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ElementosFP, 5).Value
If h <= 0.55 And h > 0.1 Then
trapezio = fb * (h)
TrapezioAcumulador = trapezio
End If
End If
Next ElementosFP
```

.

```
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 4).Value = Round(LimiteInferior, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 5).Value = Round(Faixatotal, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 6).Value = Round(LimiteSuperior, 4)
            ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
            ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(ContarExistentes, 7).Value = Round(TrapezioAcumulador, 3)
           End If
           ContarExistentes = ContarExistentes + 1
           ContarCellsXX = ContarCellsXX + 1
           cellXX = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(ContarCellsXX, 3).Value
           Loop
      End If
   End If
Next NumeroNo
End If
alinhamentos = 0
For NumeroNo = 4 To Node
   STRpilar = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 1).Value
   STRpilarNext = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo + 1, 1).Value
    coordenadaYPilar = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo, 3).Value
   coordenadaYNo = ThisWorkbook.Sheets("YY").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
    If Left(STRpilar, 1) = "P" Then
   NumeroPilar = NumeroPilar + 1
      If Left(STRpilar, 1) <> Left(STRpilarNext, 1) Then
           alinhamentos = alinhamentos + 1
      End If
   End If
Next NumeroNo
esp = ThisWorkbook.Sheets("Area Section Properties").Cells(4, 7).Value 'Espessura da laje
MaterialSap = ThisWorkbook.Sheets("Area Section Properties").Cells(4, 2).Value
c = InputBox("Introduzir o Valor do Recobrimento em m") 'recobrimento m
diam = InputBox("Introduziro Diâmetro do Vãrao em m") 'diametro do varao m
Steel = InputBox("Classe de Resistência do Aço em MPa  (S500 ou S400)" & vbNewLine & vbNewLine & " Introduzir o
valor número   S...")     ' classe de aço
d = esp - (c + (diam / 2))
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 1).Value = "Nó"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 2).Value = "Y(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 3).Value = "X(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 4).Value = "LimiteInferior(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 5).Value = "Faixa(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 6).Value = "LimiteSuperior(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 7).Value = "Mg(kN.m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 8).Value = "MgRdst(kN.m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 9).Value = "a1(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 10).Value = "a2(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 11).Value = "a3+a4(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 12).Value = "a5(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 13).Value = "a6(m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 14).Value = "FP(kN.m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 15).Value = "FC(kN.m)"
```

.

```
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 16).Value = "M(a1)(kN.m/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 17).Value = "M(a2)(kN.m/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 18).Value = "M(a3+a4)(kN.m/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 19).Value = "M(a5)(kN.m/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 20).Value = "M(a6)(kN.m/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 16).Value = "As(a1)(cm2/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 17).Value = "As(a2)(cm2/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 18).Value = "As(a3+a4)(cm2/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 19).Value = "As(a5)(cm2/m)"
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(3, 20).Value = "As(a6)(cm2/m)"
ClasseNome(0) = "C12/15"
ClasseNome(1) = "C16/20"
ClasseNome(2) = "C20/25"
ClasseNome(3) = "C25/30"
ClasseNome(4) = "C30/37"
ClasseNome(5) = "C35/40"
ClasseNome(6) = "C40/45"
ClasseNome(7) = "C45/50"
ClasseNome(8) = "C50/55"
For Material = 0 To 8
If ClasseNome(Material) = MaterialSap Then
arrayMaterial = Material
End If
Next Material
fckJ = 20
fck(0) = 12
fck(1) = 16
fck(2) = 20
For fckI = 3 To 8
fckJ = fckJ + 5
fck(fckI) = fckJ
Next fckI
fcd = Round(fck(arrayMaterial) / 1.5, 7) * 10 ^ 3
fyd = Round(Steel / 1.15, 7) * 10 ^ 3
fctm(0) = 1.6
fctm(1) = 1.9
fctm(2) = 2.2
fctm(3) = 2.6
fctm(4) = 2.9
fctm(5) = 3.2
fctm(6) = 3.5
fctm(7) = 3.8
fctm(8) = 4.1
Ecm(0) = 27
Ecm(1) = 29
Ecm(2) = 30
Ecm(3) = 31
Ecm(4) = 33
Ecm(5) = 34
Ecm(6) = 35
Ecm(7) = 36
```

.

```
Ecm(8) = 37
j = 0
u(0) = 0
u(1) = 0.005
For i = 1 To 70
j = j + 0.005
u(i) = j
Next i
u(71) = 0
w(0) = 0
w(1) = 0.005
w(2) = 0.01
w(3) = 0.015
w(4) = 0.02
w(5) = 0.026
w(6) = 0.031
w(7) = 0.036
w(8) = 0.041
w(9) = 0.046
w(10) = 0.052
w(11) = 0.057
w(12) = 0.062
w(13) = 0.067
w(14) = 0.073
w(15) = 0.078
w(16) = 0.084
w(17) = 0.089
w(18) = 0.095
w(19) = 0.1
w(20) = 0.106
w(21) = 0.111
w(22) = 0.117
w(23) = 0.123
w(24) = 0.128
w(25) = 0.134
w(26) = 0.14
w(27) = 0.146
w(28) = 0.152
w(29) = 0.158
w(30) = 0.164
w(31) = 0.17
w(32) = 0.176
w(33) = 0.182
w(34) = 0.188
w(35) = 0.194
w(36) = 0.201
w(37) = 0.207
w(38) = 0.213
w(39) = 0.22
w(40) = 0.226
w(41) = 0.233
```

.

```
w(42) = 0.239
w(43) = 0.246
w(44) = 0.253
w(45) = 0.26
w(46) = 0.266
w(47) = 0.273
w(48) = 0.28
w(49) = 0.287
w(50) = 0.295
w(51) = 0.302
w(52) = 0.309
w(53) = 0.316
w(54) = 0.324
w(55) = 0.331
w(56) = 0.339
w(57) = 0.347
w(58) = 0.355
w(59) = 0.362
w(60) = 0.37
w(61) = 0.379
w(62) = 0.387
w(63) = 0.395
w(64) = 0.404
w(65) = 0.412
w(66) = 0.421
w(67) = 0.43
w(68) = 0.439
w(69) = 0.448
w(70) = 0.458
w(71) = 0
 ContadorAlinhamentoI = 4
 STRalinhamento = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContadorAlinhamentoI, 4)
Do While STRalinhamento <> ""
   ContadorAlinhamentoI = ContadorAlinhamentoI + 1
   STRalinhamento = ThisWorkbook.Sheets("PorticosYY").Cells(ContadorAlinhamentoI, 4)
Loop
  ContadorAlinhamento = ContadorAlinhamentoI - 1


 ThisWorkbook.Worksheets("ArmadurasYY").Activate
 ThisWorkbook.Worksheets("ArmadurasYY").Range(Cells(4, 1), Cells(ContadorAlinhamento, 7)).Select
 Selection.Sort key1:=Range("C4"), Order1:=xlAscending, key2:=Range("B4"), Order2:=xlAscending, Header:=xlNo
NumNo = 4
NumeroNo = 3
NoInicial = 4
NoFinal = 4
For alinhamentoNumero = 1 To alinhamentos
NumeroNo = NumeroNo + 1
NoInicial = NumeroNo
            MsgBox "Número do Alinhamento " & ": " & alinhamentoNumero
            answerFaixaPilares = MsgBox("Redistribuição apenas na Faixa dos Pilares?", vbYesNo)
```

.

```
            answerRdst = MsgBox("Coeficiente de Redistribuição de 0,2?", vbYesNo, "Redistribuição")
             If answerRdst = vbNo Then
             Rdst = InputBox("Introduzir coeficiente de redistribuição", "Redistribuição", "Caso não pretenda incluir
Redistribuição, introduzir o valor 0 ")
             End If
             a1 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 10).Value
             a2 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 11).Value
             a3 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 12).Value
             a4 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 13).Value
             a5 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 14).Value
             a6 = ThisWorkbook.Sheets("Program Control").Cells(7 + alinhamentoNumero, 15).Value
MsgBox (alinhamentoNumero)
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Do While coordenadaNoY = coordenadaYNoNext
  NumeroNo = NumeroNo + 1
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Loop
  STRpilarInicial = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoInicial, 1).Value
  coordenadaNoY = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo, 3).Value
  coordenadaYNoNext = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNo + 1, 3).Value
Do While Left(STRpilarInicial, 1) <> "P"
NoInicial = NoInicial + 1
STRpilarInicial = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoInicial, 1).Value

Loop
CoordenadaPilarInicialX = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoInicial, 2).Value
NoFinal = NumeroNo
STRpilarFinal = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoFinal, 1).Value
Do While Left(STRpilarFinal, 1) <> "P"
  NoFinal = NoFinal - 1
   STRpilarFinal = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoFinal, 1).Value
Loop
CoordenadaPilarFinalX = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NoFinal, 2).Value
NumNo = NoInicial
Do While NumNo <= NumeroNo
NumNoString = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 1).Value
  coordenadaAlinhamento = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 2).Value
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 9).Value = a1
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 10).Value = a2
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 11).Value = a3 + a4
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 12).Value = a5
     ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 13).Value = a6
 If coordenadaAlinhamento > CoordenadaPilarInicialX And coordenadaAlinhamento < CoordenadaPilarFinalX Then
  PilarEsquerda = NumNo
  PilarEsquerdaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 1)
     Do While Left(PilarEsquerdaSTR, 1) <> "P"
     PilarEsquerda = PilarEsquerda - 1
      PilarEsquerdaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 1)
   Loop
  PilarDireita = NumNo
```

.

```
  PilarDireitaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 1)
     Do While Left(PilarDireitaSTR, 1) <> "P"
     PilarDireita = PilarDireita + 1
      PilarDireitaSTR = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 1)
   Loop
      If PilarEsquerdaSTR = STRpilarInicial And Left(NumNoString, 1) <> "P" Then
      If answerRdst = vbYes Then
         CoeficienteRdst = 0.2
       ElseIf answerRdst = vbNo Then
       CoeficienteRdst = Rdst
       End If
       MomentoTramo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
       MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 7).Value
        If MomentoNo < 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
       MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
       ElseIf MomentoNo >= 0 Then
       MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45

             MomentoFPtramo = MomentoTramo * 0.75
             MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + Abs(MomentoFPtramo * CoeficienteRdst)
       End If
       If MomentoRdstNo < 0 Then
       MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
       MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
       MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
       MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
       MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
       MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
       MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
       MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
        End If
    PilarEsqRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * PilarEsqRdst
    PilarDirRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 8).Value = PilarDirRdst
    PilarDirMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * PilarDirRdst
```

.

```
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * PilarDirRdst
 If answerFaixaPilares = vbNo Then
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
Else
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
End If
     ElseIf PilarEsquerdaSTR <> STRpilarInicial And PilarDireitaSTR <> STRpilarFinal And Left(NumNoString, 1) <> "P"
Then
      If answerRdst = vbYes Then
        CoeficienteRdst = 0.2
       ElseIf answerRdst = vbNo Then
       CoeficienteRdst = Rdst
       End If
        MomentoEsquerda = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
        MomentoDireita = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
        MomentoMedio = (MomentoEsquerda + MomentoDireita) / 2
        MomentoEsquerdaRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value * (1 -
CoeficienteRdst)
        MomentoDireitaRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value * (1 - CoeficienteRdst)
        MomentoMedioRdst = (MomentoEsquerda * CoeficienteRdst + MomentoDireita * CoeficienteRdst) / 2
       MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 7).Value
       If MomentoNo < 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoMedioRdst)
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
       MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
       ElseIf MomentoNo >= 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoMedioRdst)
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45
              MomentoFPMedio = (Abs(MomentoEsquerda) * 0.75 + Abs(MomentoDireita) * 0.75) * CoeficienteRdst / 2
              MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + MomentoFPMedio
       End If
       If MomentoRdstNo < 0 Then
       MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
       MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
       MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
       MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
```

.

```
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoRdstNo
        ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
       MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
       MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoRdstNo
        End If
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = MomentoEsquerdaRdst
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 8).Value = MomentoDireitaRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * MomentoEsquerda
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * MomentoEsquerda
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * MomentoEsquerdaRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * MomentoEsquerdaRdst
    PilarDirMomentoFC = 0.25 * MomentoDireita
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * MomentoDireita
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * MomentoDireitaRdst
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * MomentoDireitaRdst
If answerFaixaPilares = vbNo Then
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
Else
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
         ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
End If
      ElseIf PilarDireitaSTR = STRpilarFinal And Left(NumNoString, 1) <> "P" Then
      If answerRdst = vbYes Then
         CoeficienteRdst = 0.2
       ElseIf answerRdst = vbNo Then
       CoeficienteRdst = Rdst
       End If

       MomentoTramo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
       MomentoNo = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 7).Value
        If MomentoNo < 0 Then
         MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.75
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.25
       MomentoRdstNoFP = MomentoRdstNo * 0.75
       ElseIf MomentoNo >= 0 Then
       MomentoRdstNo = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
       MomentoFPinicial = MomentoNo * 0.55
       MomentoFCinicial = MomentoNo * 0.45
```

.

```
            MomentoFPtramo = MomentoTramo * 0.75
            MomentoRdstNoFP = MomentoFPinicial + Abs(MomentoFPtramo * CoeficienteRdst)
        End If
        If MomentoRdstNo < 0 Then
        MomentoRdstFPneg = MomentoRdstNo * 0.75
        MomentoRdstFCneg = MomentoRdstNo * 0.25
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPneg
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCneg
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
        ElseIf MomentoRdstNo > 0 Then
        MomentoRdstFPpos = MomentoRdstNo * 0.55
        MomentoRdstFCpos = MomentoRdstNo * 0.45
        MomentoRdstFP = MomentoRdstFPpos
        MomentoRdstFC = MomentoRdstFCpos
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 8).Value = MomentoNo + Abs(MomentoTramo * (CoeficienteRdst))
         End If
    PilarDirRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 8).Value = PilarDirRdst
    PilarDirMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 7).Value
    PilarDirMomentoRdstFP = 0.75 * PilarDirRdst
    PilarDirMomentoRdstFC = 0.25 * PilarDirRdst
    PilarEsqRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value + Abs(MomentoTramo *
(CoeficienteRdst))
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 8).Value = PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoFC = 0.25 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoFP = 0.75 * ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 7).Value
    PilarEsqMomentoRdstFP = 0.75 * PilarEsqRdst
    PilarEsqMomentoRdstFC = 0.25 * PilarEsqRdst

 If answerFaixaPilares = vbNo Then
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoRdstFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoRdstFC
Else
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 14).Value = MomentoRdstNoFP
        ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumNo, 15).Value = MomentoFCinicial
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 14).Value = PilarDirMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarDireita, 15).Value = PilarDirMomentoFC
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 14).Value = PilarEsqMomentoRdstFP
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(PilarEsquerda, 15).Value = PilarEsqMomentoFC
End If
End If
End If
NumNo = NumNo + 1
Loop
NumNo = NumNo - 1
Next alinhamentoNumero
```

.

```
For NumeroNoalinhamento = 4 To NumNo
    MgRdst = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 8).Value
If MgRdst = "" Then
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 9).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 10).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 11).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 12).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 13).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 16).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 17).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 18).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 19).Value = 0
    ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 20).Value = 0
End If
Next NumeroNoalinhamento
For NumeroNoalinhamento = 4 To NumNo
    a1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 9).Value
    a2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 10).Value
    a3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 11).Value
    a5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 12).Value
    a6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 13).Value

If a1 = 0 And a2 = 0 And a3a4 = 0 And a5 = 0 And a6 = 0 Then
Momentoa1 = 0
Momentoa2 = 0
Momentoa3a4 = 0
Momentoa5 = 0
Momentoa6 = 0
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
Else
If a1 = 0 Then
Momentoa6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value / a6
Momentoa1 = 0
Ua6 = Abs(Momentoa6) / ((d ^ 2) * fcd)
Ua1 = 0
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua6 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua6 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa6 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa1 = 0
```

.

```
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
ElseIf a6 = 0 Then
Momentoa6 = 0
Momentoa1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value / a1
Ua1 = Abs(Momentoa1) / (d ^ 2 * fcd)
Ua6 = 0
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua1 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua1 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa1 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa6 = 0
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
Else
Momentoa6 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value * 0.5 / a6
Momentoa1 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 15).Value * 0.5 / a1
Ua1 = Abs(Momentoa1) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua1 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua1 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa1 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa1 = 0
End If
Ua6 = Abs(Momentoa6) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua6 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
```

.

```
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua6 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa6 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa6 = 0
End If
End If
If ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value < 0 Then
If a2 = 0 Then
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = 0
Momentoa5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 3) / a5
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua5 = Abs(Momentoa5) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua5 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua5 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa5 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
ArmaduraMomentoa2 = 0
ElseIf a5 = 0 Then
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 3) / a2
Momentoa5 = 0
Ua3a4 = Momentoa3a4 / (a3a4 * d * fcd)
Ua2 = Momentoa2 / (a2 * d * fcd)
Ua5 = 0
```

.

```
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua2 = Abs(Momentoa2) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua2 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua2 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa2 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa2 = 0
End If
ArmaduraMomentoa5 = 0
Else
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (2 / 3) / a3a4
Momentoa2 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 6) / a2
Momentoa5 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value * (1 / 6) / a5
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
End If
Ua2 = Abs(Momentoa2) / (d ^ 2 * fcd)
```

.

```
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua2 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua2 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa2 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa2 = 0
End If
Ua5 = Abs(Momentoa5) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua5 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua5 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa5 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
Else
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
End If
Else
Momentoa3a4 = ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 14).Value / (a2 + a3a4 + a5)
Momentoa2 = 0
Momentoa5 = 0
Ua2 = 0
Ua5 = 0
Ua3a4 = Abs(Momentoa3a4) / (d ^ 2 * fcd)
LinhaAbacos = 0
Do Until Ua3a4 < u(LinhaAbacos)
LinhaAbacos = LinhaAbacos + 1
Loop
If LinhaAbacos < 71 Then
Uinf = u(LinhaAbacos - 1)
Usup = u(LinhaAbacos)
Winf = w(LinhaAbacos - 1)
Wsup = w(LinhaAbacos)
Wdim = ((Wsup - Winf) / (Usup - Uinf)) * (Ua3a4 - Uinf) + Winf
ArmaduraMomentoa3a4 = Wdim * d * (fcd / fyd) * 10 ^ 4
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
Else
```

.

```
ArmaduraMomentoa3a4 = 0
ArmaduraMomentoa2 = 0
ArmaduraMomentoa5 = 0
End If
End If
End If
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 16).Value = Momentoa1
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 17).Value = Momentoa2
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 18).Value = Momentoa3a4
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 19).Value = Momentoa5
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 20).Value = Momentoa6
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 21).Value = ArmaduraMomentoa1
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 22).Value = ArmaduraMomentoa2
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 23).Value = ArmaduraMomentoa3a4
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 24).Value = ArmaduraMomentoa5
ThisWorkbook.Sheets("ArmadurasYY").Cells(NumeroNoalinhamento, 25).Value = ArmaduraMomentoa6
Next NumeroNoalinhamento
ThisWorkbook.Activate
End Sub
```