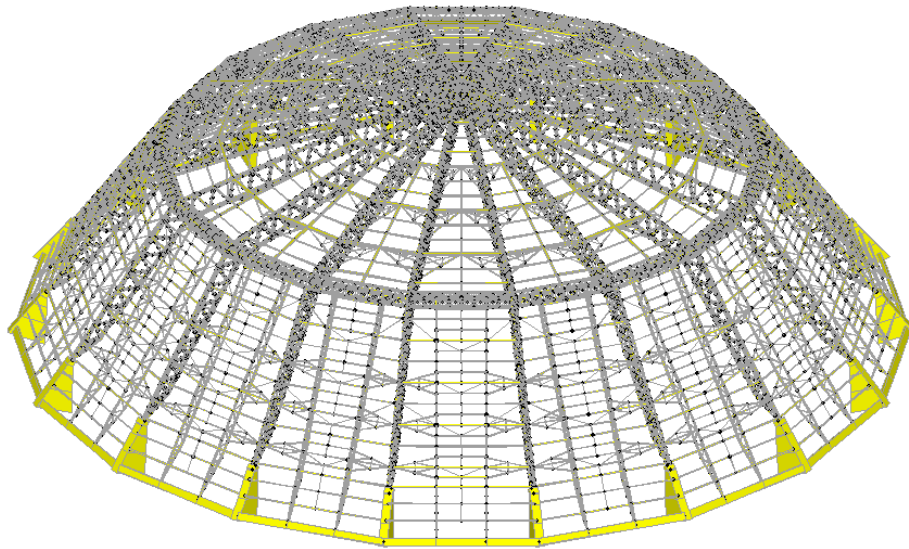




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Civil



Dimensionamento dos Elementos Constituintes de uma Estrutura Espacial em Aço

TIAGO FILIPE BASTOS SANTOS SILVA

Licenciado

Trabalho de Projecto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Estruturas

Orientador:

Eng. José António Fontelas dos Santos Viseu (Eq. Prof. Adjunto do ISEL)

Júri:

Presidente: Mestre, Cristina Ferreira Xavier de Brito Machado (Prof. Coordenadora)

Vogais: Licenciado, João Ramiro Costa Almeida Guerra (Eq. Prof. Adjunto do ISEL)

Eng. José António Fontelas dos Santos Viseu (Eq. Prof. Adjunto do ISEL)

Maio de 2011

ÍNDICE DAS PEÇAS DO PROJECTO

A – PEÇAS ESCRITAS

I – RESUMO

II – MEMÓRIA DESCRITIVA

III – CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

IV – CONDIÇÕES TÉCNICAS

V – MAPA DE QUANTIDADES

VI – CONCLUSÕES

B – PEÇAS DESENHADAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



A – PEÇAS ESCRITAS

A – PEÇAS ESCRITAS

I – RESUMO

I RESUMO

A realização deste trabalho teve como principal objectivo o emprego dos conceitos apreendidos nas Unidades Curriculares do Mestrado, bem como da Licenciatura. Nesse sentido, foi elaborado um projecto de uma estrutura espacial em aço (cúpula nervurada). Na realização do projecto foram aplicados conhecimentos adquiridos no âmbito das Unidades Curriculares de construção metálica, dinâmica de estruturas e de engenharia sísmica.

Para modelar a estrutura foi utilizado o programa de cálculo automático SAP2000 e os resultados de dimensionamento dos elementos metálicos obtidos foram validados em folhas de cálculo em Excel desenvolvidas para o efeito. Reuniu-se informações sobre estruturas deste tipo bem como bibliografia da especialidade, com o propósito de adquirir uma base sólida de conhecimento para a realização deste projecto. O dimensionamento do sistema estrutural foi efectuado sempre que possível de acordo com a nova regulamentação, os Eurocódigos estruturais.

Palavras-chave: Estruturas metálicas, estruturas espaciais em aço, cúpulas nervuradas, Eurocódigos estruturais.

I ABSTRACT

This work primary objective is to apply the concepts acquired in the Master Curriculum Units, as well as some learned in the previous years. With this objective in mind, was elaborated a project of a spatial structure in steel (ribbed dome). In the accomplishment of the project were applied steel construction concepts, structural dynamics concepts and earthquake engineering concepts.

To model the structure was used the computer program SAP2000 and the results were validated by personal spreadsheets.

Informations were collected regarding similar structures and speciality bibliography, with the purpose to build solid knowledge to fulfill the project execution.

Structural system was designed based in the new regulation, Structural Eurocodes, whenever possible.

Keywords: Steel structures, spatial structures in steel, ribbed domes, structural Eurocodes.

I AGRADECIMENTOS

Ao Professor José Santos Viseu, orientador do presente projecto, pela dedicação, paciência, disponibilidade prestada e conhecimento transmitido, que muito contribuíram para a elaboração deste trabalho e para a minha formação.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pela solicitude e presteza durante o meu percurso académico.

Aos meus Pais, pelo incentivo e exemplo de vida.

Aos meus irmãos Ana e Jorge, pelo apoio concedido na elaboração deste trabalho.

Ao Bruno, pela grande ajuda prestada.



A – PEÇAS ESCRITAS
II – MEMÓRIA DESCRITIVA

Índice

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	GEOLOGIA E GEOTECNIA.....	6
3	DESCRIÇÃO GERAL DA CÚPULA ESPACIAL.....	8
3.1	GEOMETRIA DA CONSTRUÇÃO.....	8
3.2	DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS.....	8
3.3	DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS NAS BARRAS DA ESTRUTURA.....	12
4	MODELOS DE CÁLCULO.....	16
4.1	GERAL.....	16
4.2	MODELAÇÃO DOS GIGANTES.....	16
4.3	MODELAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA.....	17
4.4	DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS.....	20
4.5	DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES.....	20
5	MATERIAIS.....	21
5.1	ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO.....	21
5.2	ESTRUTURA METÁLICA.....	21
6	QUANTIFICAÇÃO DE ACÇÕES.....	23
6.1	CARGAS PERMANENTES (G).....	23
6.2	SOBRECARGAS (SOB).....	24
6.3	TEMPERATURA (T).....	24
6.4	ACÇÃO DO VENTO (W).....	24
6.5	ACÇÃO SÍSMICA (E).....	28
6.6	COMBINAÇÃO DE ACÇÕES E VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA.....	32
7	PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	35
8	PROCESSO CONSTRUTIVO.....	42
9	REGULAMENTAÇÃO.....	47
10	SEGURANÇA.....	48
11	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Lousiana Superdome	3
Figura 1.2 – Torre Eiffel	3
Figura 1.3 – Ponte 25 de Abril (Lisboa).....	3
Figura 1.4 – Ponte D. Maria Pia (Porto)	3
Figura 1.5 – Cúpula West Baden Springs Hotel (Vista Interior).....	4
Figura 1.6 – Planta de localização da pedreira em Alhandra	5
Figura 1.7 – Esquema ilustrativo da alimentação do Stock por intermédio da tela transportadora	5
Figura 2.1 – Perfil geotécnico do solo	6
Figura 2.2 – Sondagem 1 (tipo)	7
Figura 3.1 – Visão global da estrutura.	8
Figura 3.2 – Pormenor Tipo – Arcos Meridianos.	10
Figura 3.3 – Pormenor – Pórtico Secundário.	10
Figura 3.4 – Pormenor – Viga Triangulada.	11
Figura 3.5 – Pormenor – Anel de Fecho.	11
Figura 3.6 – Amplificação dos Momentos num pórtico simples de barras rígidas (c)	13
Figura 4.1 – Modelo dos gigantes.....	17
Figura 4.2 – Modelo 3D da estrutura.....	17
Figura 4.3 – Vista de topo da estrutura.	18
Figura 4.4 – Pormenor – Ligação Arcos Meridianos - Anel de Fecho.....	18
Figura 4.5 – Pormenor – Ligação Arco Meridiano com Viga Triangulada (Anel Intermédio).	19
Figura 4.6 - Pormenor – Contraventamentos.	19
Figura 6.1 – Comparação entre cúpula de base circular (vermelho) e estrutura real (amarelo).	25
Figura 6.2 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para cúpulas de base circular.	26
Figura 6.3 – Pormenor – Distribuição dos valores de cpe pelos sectores.	27
Figura 6.4 – Mapa de Zonamento Sísmico (NP EN 1998-1)	28
Figura 6.5 – Espectro de cálculo da acção sísmica tipo 1.....	29
Figura 6.6 – Espectro de cálculo da acção sísmica tipo 2.....	30

Figura 7.1 – Pórtico plano.....	35
Figura 7.2 – Acção – Restante Carga Permanente.....	36
Figura 7.3 – Acção - Sobrecarga.	36
Figura 7.4 – Acção – Vento.....	36
Figura 7.5 – Diagrama de esforços axiais para a combinação envolvente.	37
Figura 7.6 – Diagrama de momentos flectores para a combinação envolvente.....	37
Figura 7.7 – Deslocamentos para a combinação envolvente.	39
Figura 7.8 – Secção composta adoptada para a secção no arranque (esquerda), e para a da extremidade (direita) dos arcos meridianos.....	40
Figura 8.1 – Torre Principal.....	42
Figura 8.2 – Torres Secundárias.....	42
Figura 8.3 – Dois Sectores Montados Simetricamente (3D).....	43
Figura 8.4 – Sectores Montados Simetricamente (Planta).	43
Figura 8.5 – Rácios dos esforços de dimensionamento dos Elementos Metálicos montados referentes à 1ª Fase.....	44
Figura 8.6 – Quatro Sectores Montados Simetricamente (3D).....	44
Figura 8.7 – Estrutura Apoiada nas Torres Secundárias (3D).	45
Figura 8.8 – Rácios de dimensionamento dos Elementos Metálicos correspondentes à 2ª Fase.	45
Figura 8.9 – Cúpula Concluída.	46

Índice de Tabelas

Tabela 5.1 – Betão	21
Tabela 5.2 – Aço em Betão Armado	21
Tabela 5.3 – Aço em Estrutura Metálica	21
Tabela 6.1 – Pressão dinâmica de pico	27
Tabela 6.2 – <i>Combinações de acções consideradas no dimensionamento.</i>	33

1 INTRODUÇÃO

O presente projecto foi elaborado com o âmbito de concluir o Mestrado em Engenharia Civil. Tem como principais objectivos: empregar os conhecimentos adquiridos durante o percurso escolar no I.S.E.L; apreender bases fundamentais inerentes à actividade de projectista de modo a distinguir o essencial do supérfluo; compreender e aplicar os Eurocódigos estruturais; adquirir as competências necessárias à colocação de uma estrutura no software de cálculo SAP2000, bem como proceder à análise dos resultados; desenvolver Folhas de Cálculo para calibração dos resultados obtidos no modelo de elementos finitos mas também na aplicação de alguns operadores matemáticos utilizados nos cálculos; interpretar os resultados obtidos e compará-los para aferir a fiabilidade do modelo de cálculo utilizado.

A escolha deste projecto para trabalho final de mestrado está relacionada com o fascínio que sempre tive por estruturas espaciais de grandes vãos, que aumentou ainda mais depois de uma visita de estudo no âmbito da Unidade Curricular de Construções Metálicas e Mistas, onde, entre outras estruturas, me foi dado a observar uma cúpula espacial metálica assente em contrafortes de betão. A partir desse momento, comecei a compilar alguma informação sobre estruturas idênticas em Portugal e no resto do Mundo. Outro factor que influenciou a minha opção foi o facto de poder aplicar os conhecimentos que adquiri nas Unidades Curriculares do curso relativos à nova regulamentação – os Eurocódigos estruturais.

De referir que as cúpulas apresentam um sistema estrutural eficiente e económico, razão pela qual foram sempre soluções estruturais escolhidas desde a antiguidade até aos nossos dias. Os primeiros indícios do uso deste tipo de estrutura foram encontrados nas ruínas do palácio do rei Sennacherib em Nineveh, no Iraque (705-681 a.C.). O progresso destas estruturas está intrinsecamente ligado aos materiais e tecnologias existentes em cada época, tendo os vãos variado em função dos materiais, técnicas e meios de elevação então conhecidos. Na Europa o trabalho com o ferro remonta ao ano de 1700 a.C., mas foi com a sua vulgarização como material estrutural no princípio do século XIX, e posteriormente do aço, que surgiram algumas das mais brilhantes estruturas erguidas pelo Homem, entre elas:

Britannia Bridge (Inglaterra), viga em caixão, com dois vãos centrais de 140 m, construída em 1850; Brooklin Bridge (Nova York), 486 m de vão livre, erigida em 1883; ponte ferroviária Firth of Forth (Escócia), constituída por uma viga Gerber com 521 m de vão,

construída em 1890; Torre Eiffel (Paris), 312 m de altura, edificada em 1889; Empire State Building (Nova York), 380 m de altura, construído em 1933; Golden Gate Bridge (San Francisco), ponte suspensa com 1280 m de vão, construída em 1937, World Trade Center (Nova York), 410 m de altura, 110 andares, edificado em 1972 e Louisiana Superdome (Nova Orleães), 207 m de diâmetro, erguida em 1975.



Figura 1.1 – Louisiana Superdome



Figura 1.2 – Torre Eiffel

E em Portugal:

Entre outras a Ponte de D. Maria Pia (Porto), arco com 160 m de corda, construída em 1877 e a Ponte 25 de Abril (Lisboa), ponte suspensa com 1012 m de vão, construída em 1966.



Figura 1.3 – Ponte 25 de Abril (Lisboa)



Figura 1.4 – Ponte D. Maria Pia (Porto)

Muito embora este tipo de estruturas possa ser constituída por secções tubulares por razões de melhor comportamento destas secções, menor mão-de-obra e áreas de pintura, recorreu-se a elementos de secção aberta, visto ser uma solução estrutural que permite obter mais conhecimento e experiência.

A solução estrutural preconizada para este projecto é do tipo nervurada, constituída por arcos meridianos em caixão treliçados com elevada inércia, ligados entre si por um anel de compressão no topo, bem como um anel intermédio na zona de variação da inclinação dos pórticos radiais (arcos meridianos). (d)

Existe uma cúpula deste tipo no West Baden Springs Hotel, nos Estados Unidos da América que possui um diâmetro de 59,5 m, uma altura de 30,5m e uma área de 2800 m², realizada a partir de 22 nervuras radiais, construída em 1902.



Figura 1.5 – Cúpula West Baden Springs Hotel (Vista Interior)

Os capítulos seguintes referem-se à memória descritiva do Projecto Base de uma Cobertura Metálica existente assente em 18 Contrafortes de Betão destinada a armazenar material britado, localizada na pedreira da CIMPOR – Cimentos de Portugal, S.A. em Alhandra. O material britado é colocado numa tremonha por uma pá carregadora, sendo posteriormente transportado através de uma tela até ao interior da estrutura. A tela transportadora e seus efeitos na cúpula não foram tidos em conta nos cálculos efectuados, visto que descarrega os seus esforços numa viga contínua treliçada em caixão que apoia em vários pilares, com o último tramo em consola.

Descrevem-se nos pontos subsequentes a constituição dos sistemas estruturais principais, os processos construtivos, e o dimensionamento das soluções estruturais adoptadas, bem como os materiais utilizados.

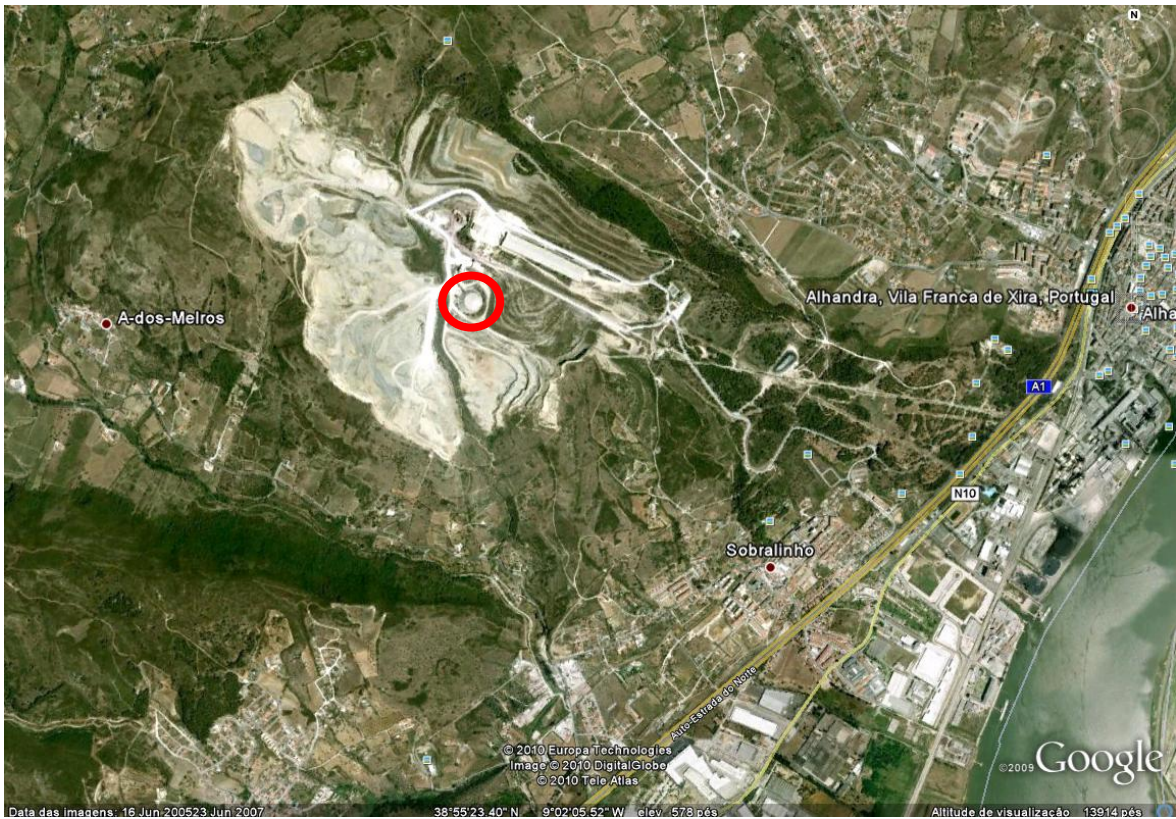


Figura 1.6 – Planta de localização da pedreira em Alhandra.

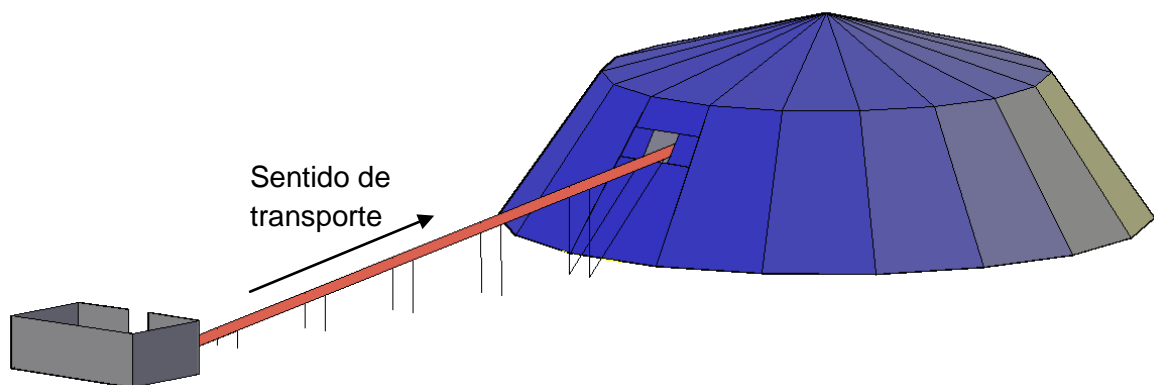


Figura 1.7 – Esquema ilustrativo da alimentação do Stock por intermédio da tela transportadora.

2 GEOLOGIA E GEOTECNIA

O dimensionamento das fundações dos arcos meridianos – contrafortes, bem como dos pórticos secundários - apoios intermédios desta Cobertura, teve em atenção o reconhecimento geológico/geotécnico dos terrenos de fundação.

Nos nossos estudos considerou-se dois complexos lito-geotécnicos assim caracterizados:

- C1 - Depósitos de aterro argilo-arenosos com carvão e pedras de calcário dispersas (aproximadamente 1m de espessura);
- C2 - Estratos inferiores em calcários margosos, cinzentos, “muito rijos” (% de Recuperação > 90 e RQD > 60%).

Não foi detectada a presença de nível freático.

Em função das informações geomecânicas o modelo desenvolvido partiu de duas premissas fundamentais na ligação da estrutura às fundações:

- Inexistência de assentamentos nas fundações;
- Inexistência de nível freático.

A caracterização geológica-geotécnica indicada tem como objectivo único quantificar a acção sísmica.

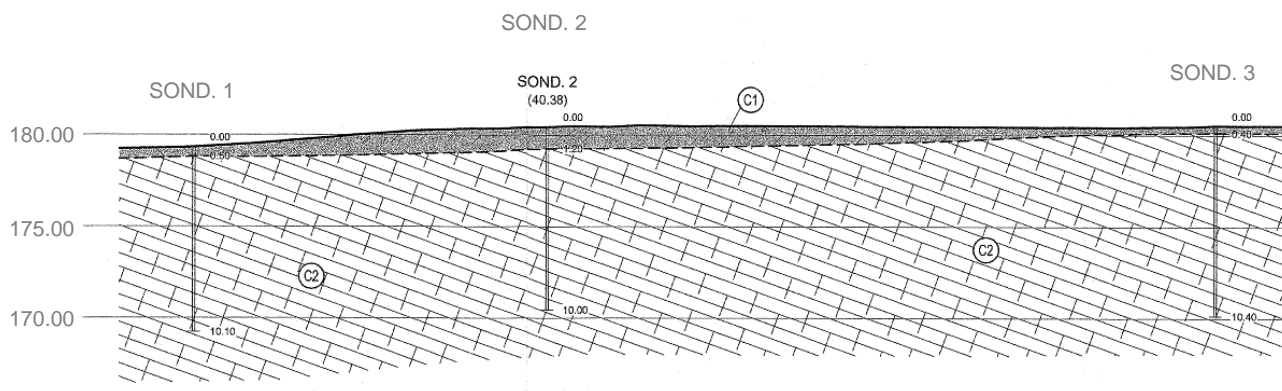


Figura 2.1 – Perfil geotécnico do solo.

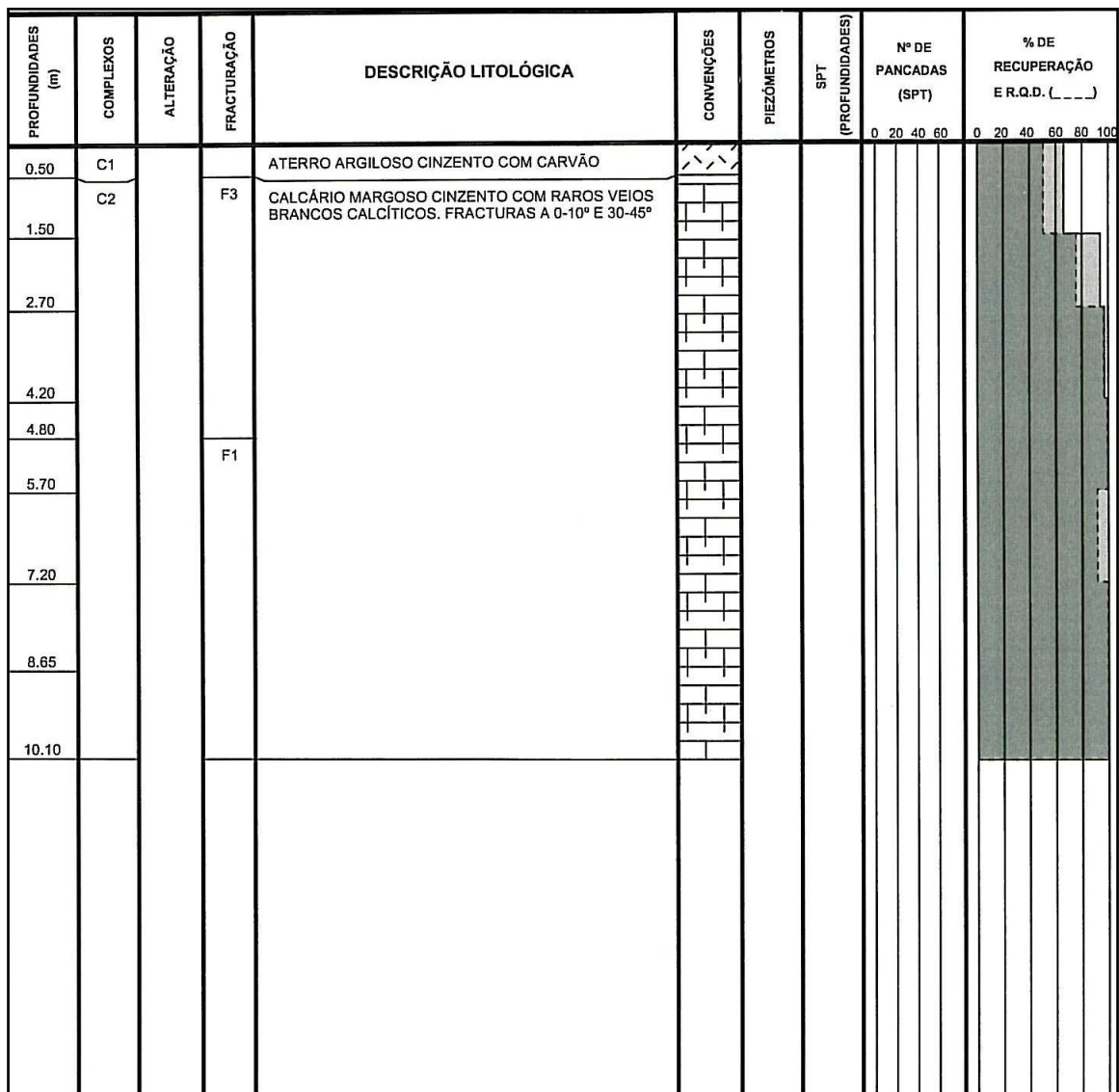


Figura 2.2 – Sondagem 1 (tipo).

3 DESCRIÇÃO GERAL DA CÚPULA ESPACIAL

3.1 GEOMETRIA DA CONSTRUÇÃO

A estrutura apresenta um diâmetro de 96 metros, 7 240 m² de área em planta e uma altura de 31,3 metros entre o pavimento e o topo do anel de fecho.

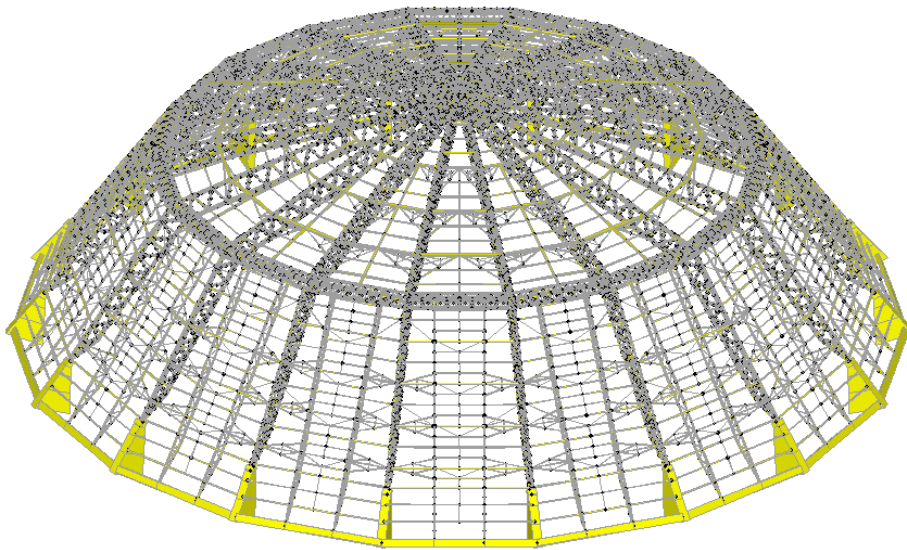


Figura 3.1 – Visão global da estrutura.

A base da Cúpula consiste num polígono regular de 18 lados, formando um octodecágono. Existem dois tipos de vertentes: As vertentes inferiores, possuem uma inclinação de 55° com a horizontal, desenvolvendo-se entre o nível do pavimento e a cota dos 22,3 metros. As vertentes superiores, possuem uma inclinação de 15° com a horizontal, entre a cota 22,3 até aos 31,3 metros.

3.2 DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS

Este projecto engloba a solução estrutural da Cúpula Metálica. Neste capítulo serão descritas as soluções estruturais preconizadas para a estrutura acima descrita.

Dentro das várias concepções estruturais possíveis para a construção da Cúpula: aço; alumínio; betão pré-esforçado (para outro tipo de geometria – hangares); entre outras, optou-se por uma solução metálica treliçada atendendo às seguintes vantagens: rapidez de execução no local; peso da estrutura; versatilidade e fundações mais económicas.

A superestrutura é metálica do tipo "porticado" espacial, constituída por perfis laminados simples e compostos, em aço da classe S355.

Os elementos estruturais principais que constituem os arcos meridianos são formados como acima já foi referido, por vigas treliçadas com secções em caixão compostas ligadas a gigantes em betão armado que transmitem as cargas ao solo através das fundações.

Os pórticos secundários desenvolvem-se no sentido radial, funcionam entre os arcos meridianos e estão apoiados na viga triangulada (anel intermédio) e na viga de bordadura.

Têm como função principal aligeirar o peso da estrutura pois servem de apoio às madres que funcionam deste modo como vigas contínuas

O anel intermédio é constituído por uma viga triangular treliçada com secção transversal pentagonal de grande rigidez flexão-torsional que tem funções de contraventamento de toda a cúpula espacial, contribuindo também para a diminuição dos comprimentos de encurvadura dos elementos que constituem os arcos meridianos.

As chapas de revestimento exterior descarregam directamente nas madres.

As fundações da estrutura são directas e estão ligadas entre si por vigas em betão armado.

De forma a absorver melhor os esforços as treliças (sistemas triangulados) que compõem os arcos meridianos (pórticos principais) são constituídas por perfis em] [nas cordas superiores, inferiores e nas diagonais, formando assim uma configuração simétrica em relação ao seu próprio plano. Considerou-se que o plano que contem as cargas intercepta o centro de gravidade das secções. Tendo em conta os grandes vãos dos pórticos principais, as acções a que estão sujeitos e de modo a diminuir o peso destes elementos foram utilizadas secções laminadas compostas. (c)

As secções transversais principais em caixão que constituem os arcos meridianos são formadas por elementos compostos por perfis] [NP 200 cordas superiores e] [NP 160 cordas inferiores. As diagonais são formadas por] [PN 80

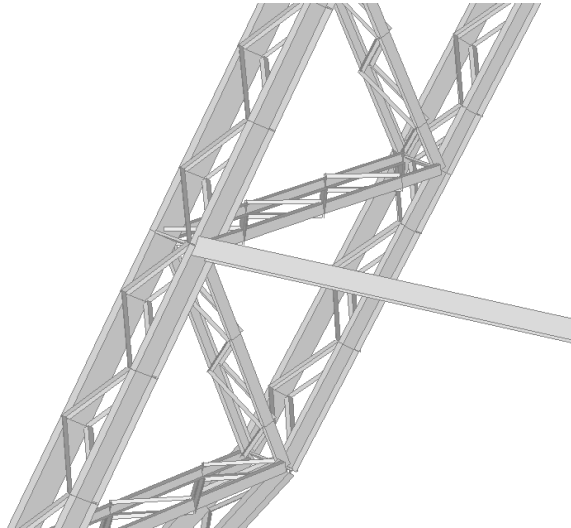


Figura 3.2 – Pormenor Tipo – Arcos Meridianos.

As secções principais que constituem os pórticos secundários são formadas por elementos compostos por perfis] [NP 120. As diagonais são formadas por UPN 80.

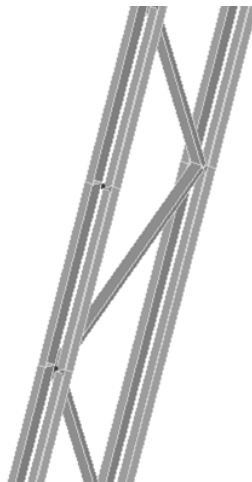


Figura 3.3 – Pormenor – Pórtico Secundário.

A secção que constitui o anel radial principal é formada por um conjunto de vigas planas trianguladas ligadas entre si constituindo uma secção transversal pentagonal formada por elementos compostos por perfis] [NP 120 – cordões exteriores sendo as diagonais formadas por UPNs 80 e os prumos por perfis tubulares 50x6.

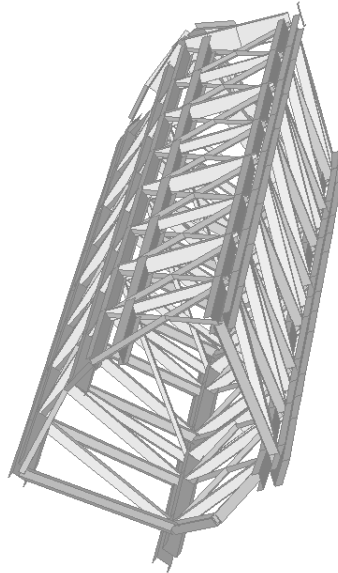


Figura 3.4 – Pormenor – Viga Triangulada.

O anel de fecho tem uma secção composta por dois UNP260 em caixão, que se desenvolvem em todo o perímetro a dois níveis distintos. Entre os dois níveis de UNP's existe um perfil INP260 simples, estando todo o conjunto travado por diagonais em cantoneiras L 40X4 completando desta forma o anel.

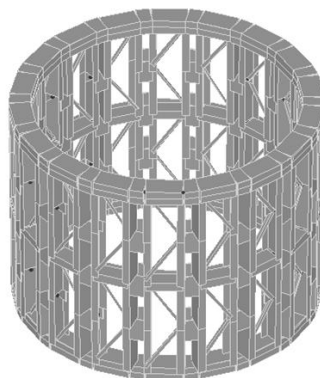


Figura 3.5 – Pormenor – Anel de Fecho.

Na parte respeitante às ligações optar-se-á sempre que possível soldaduras, exceptuando as peças principais que constituem os arcos meridianos e pórticos secundários que por razões de transporte (comprimentos máximos de 12 – 16m) e montagem se recorrerá a ligações aparafusadas.

O revestimento será feito recorrendo a chapas perfiladas com secção trapezoidal de aço lacadas com 0,7mm de espessura, que apoiam em todo o esqueleto que formam as madres constituídas por perfis IPE140, dispostas radialmente com afastamentos máximos de 2.40m, tarugadas a meio vão com varões de diâmetro 10 mm de modo a diminuir os momentos flectores segundo o eixo mais fraco.

Nas cumeeiras nas zonas de intersecção das chapas correspondentes a sectores contíguos serão colocados rufos em chapa quinada, rebitados à estrutura de modo a impedir a entrada do vento e das águas pluviais.

Deverá ser levado a cabo periodicamente um processo de limpeza para remover o pó assente na cobertura, de modo a impedir uma sobrecarga de poeiras superior a 0,4 kN/m².

A quantificação e combinação de acções, designadamente para as sobrecargas, temperatura, vento e sismos, foi realizada segundo a NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas, e a NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas.

A acção devida ao peso próprio da estrutura foi quantificada a partir dos pesos específicos indicados na NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas e com base nas tabelas indicativas das características geométricas e elásticas dos perfis e chapas dos fabricantes siderúrgicos.

3.3 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS NAS BARRAS DA ESTRUTURA

A análise global da estrutura foi feita recorrendo a 2 métodos de acordo com a NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço:

- Análise de primeira ordem, considerando a geometria inicial da estrutura e;
- Análise de segunda ordem, tomando em consideração a influência da configuração deformada da estrutura.

Os efeitos de segunda ordem, ou seja, os efeitos da configuração deformada deverão ser tidos em conta na análise efectuada, sempre que estes aumentem os efeitos das acções ou modifiquem o comportamento estrutural de forma significativa. Estes são causados por forças horizontais ou verticais aplicadas de forma assimétrica. (c)

A Figura 3.6 mostra a amplificação dos momentos num pórtico simples de barras rígidas, sujeito a forças verticais e horizontais. Tal como é demonstrado na figura, pode-se observar o deslocamento sofrido no topo das colunas. Como resultado estas deixam de se desenvolver na vertical. As forças P_1 e P_2 aplicadas na estrutura já deformada, levam a que os nós se desloquem mais para a direita tendo como consequência o aumento dos momentos M_1 e M_2 . Além disso, a força de compressão nas colunas e nas vigas deformadas também produz momentos flectores nas colunas.

Sendo o fenómeno anteriormente descrito conhecido como efeitos de segunda ordem.

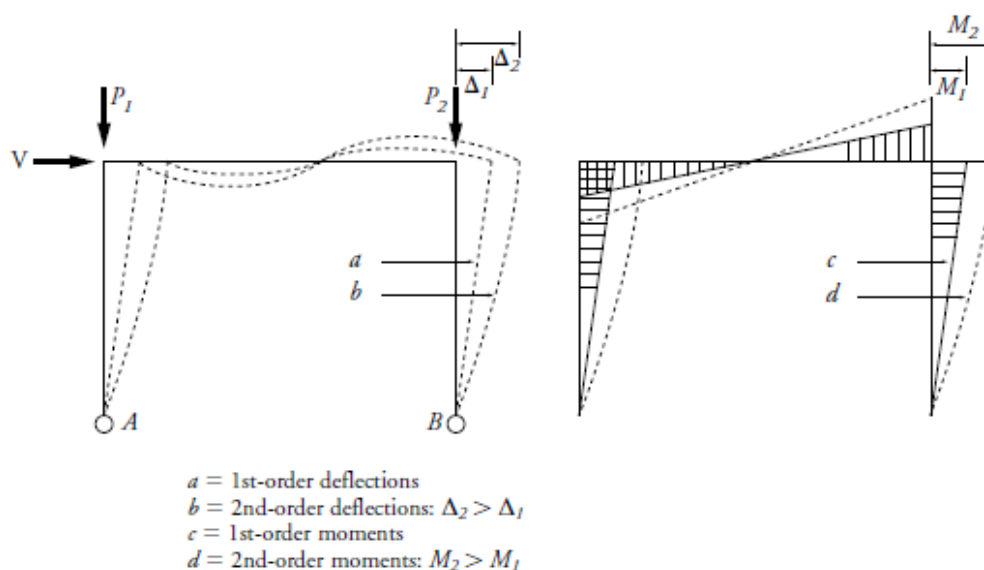


Figura 3.6 – Amplificação dos Momentos num pórtico simples de barras rígidas (c)

Em conclusão, os efeitos de segunda de ordem podem ser observados em:

- Momentos flectores
 - Devido a interacção da força de compressão associada à curvatura das barras
 - Devido ao esforço de flexão (deformação adicional da curvatura)
- Cargas de axial
 - Devido ao esforço axial (Ex: encurtamentos e alongamentos)

- Momentos flectores e Cargas de axial
 - Devido aos efeitos do esforço transversal (c)

A classificação de um pórtico em termos de deformabilidade lateral depende do carregamento em causa, pelo que não é uma característica intrínseca da estrutura.

A verificação da estabilidade de pórticos com deslocamentos laterais pode ser efectuada das seguintes formas:

Análise elástica:

- Análise de primeira ordem com amplificação de momentos.
- Análise de segunda ordem, utilizando comprimentos de encurvadura sem deslocamentos laterais.

Análise plástica:

- Análise rígido-plástica de primeira ordem com amplificação de momentos.
- Análise elástico-plástica de segunda ordem, utilizando comprimentos de encurvadura sem deslocamentos laterais.

De acordo com a norma NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço, a análise da estrutura pode ser efectuada tendo em conta apenas os efeitos de primeira ordem, uma vez cumprida a seguinte condição:

$$\alpha_{crit} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} > 10$$

, efectuando uma análise elástica da estrutura.

α_{crit} - factor pelo qual as acções de cálculo deveriam ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica num modo global;

F_{Ed} - valor de cálculo do carregamento da estrutura;

F_{cr} - valor crítico do carregamento associado à instabilidade elástica num modo global com deslocamentos laterais, determinado com base nos valores de rigidez iniciais.

Através do modo de análise da carga crítica de estruturas que o SAP2000 possui (*Load Case Type – Buckling*), obtiveram-se valores de α_{crit} inferiores a 10, na combinação de acções mais desfavorável. Classificou-se a estrutura como “com deslocamentos laterais”.

Foram feitos então estudos que englobaram uma análise de primeira ordem, bem como uma análise de segunda ordem (Análise Não Linear – $P-\Delta$), visto que o incremento das forças internas e momentos provocados pela posição deformada da estrutura não podem ser desprezados.

4 MODELOS DE CÁLCULO

4.1 GERAL

O objectivo dos modelos de cálculo estudados assentou na representação fiel das características geométricas dos diversos elementos estruturais. A discretização da estrutura nos modelos tridimensionais realizou-se através de elementos de barra. O *software* utilizado para o cálculo da estrutura foi o SAP2000, *software* que permite a realização da análise dinâmica por espectros de resposta e, por conseguinte, a obtenção directa das acções dos sismos sobre a estrutura.

Os esforços assim obtidos, para cada uma das acções consideradas, foram então combinados de acordo com as combinações de acções preconizadas na NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas.

Depois da obtenção dos esforços finais de cálculo, foi feito e verificado o dimensionamento das secções e dos elementos metálicos (colunas, vigas e colunas-vigas). O dimensionamento das secções metálicas e respectivas verificações preconizadas na NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço, foi realizado pelo *software* SAP2000. Adicionalmente para alguns elementos isolados foram efectuadas as verificações de segurança recorrendo a folhas de cálculo, tabelas ou ábacos constantes de manuais da especialidade.

4.2 MODELAÇÃO DOS GIGANTES

O dimensionamento dos gigantes foi feito de modo a garantir que estes elementos possuíssem capacidade suficiente para suportar as acções que lhe são transmitidas pela estrutura metálica.

Os gigantes transmitem a carga ao terreno através de fundações directas.

Optou-se para o modelo de cálculo por elementos *frame* com inércia variável elaborado no programa SAP2000.

Seguidamente apresenta-se uma imagem do modelo concebido para os gigantes.

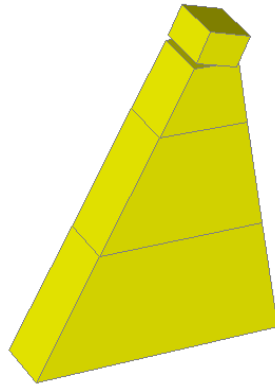


Figura 4.1– Modelo dos gigantes.

4.3 MODELAÇÃO DA ESTRUTURA METÁLICA

Elaborou-se um modelo tridimensional para a obtenção dos esforços actuantes na estrutura metálica.

O cálculo da estrutura foi realizado recorrendo ao programa SAP2000, tendo-se obtido os esforços e as deformações necessárias ao dimensionamento dos elementos estruturais.

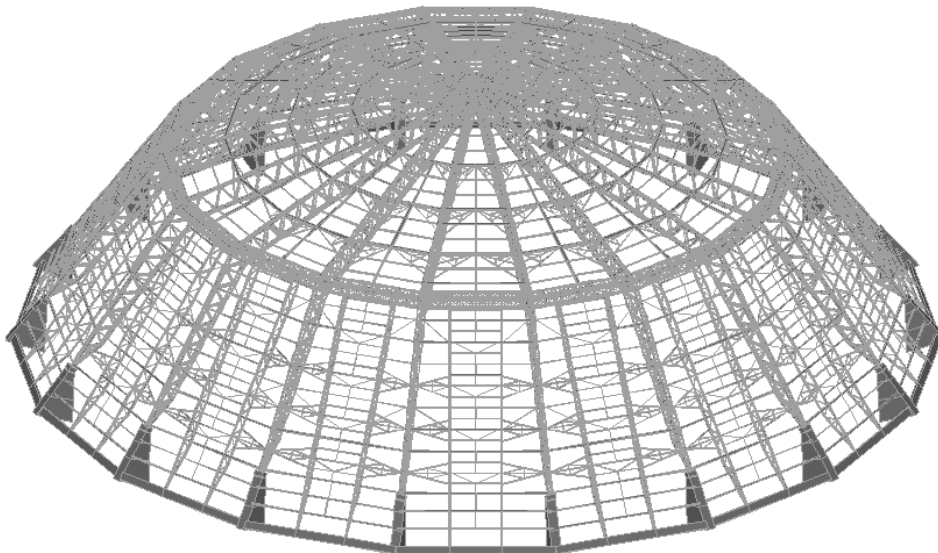


Figura 4.2 – Modelo 3D da estrutura.

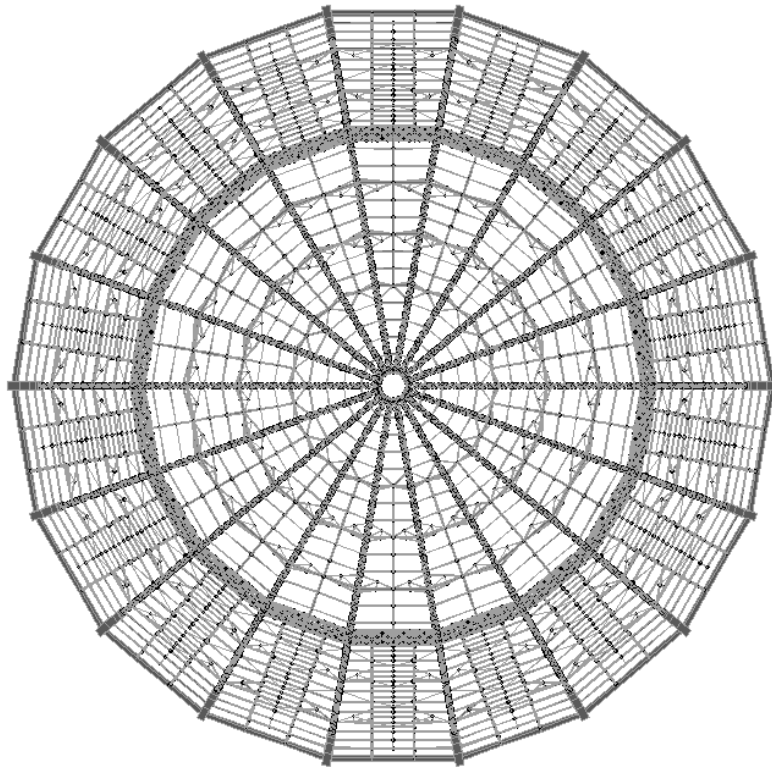


Figura 4.3 – Vista de topo da estrutura.

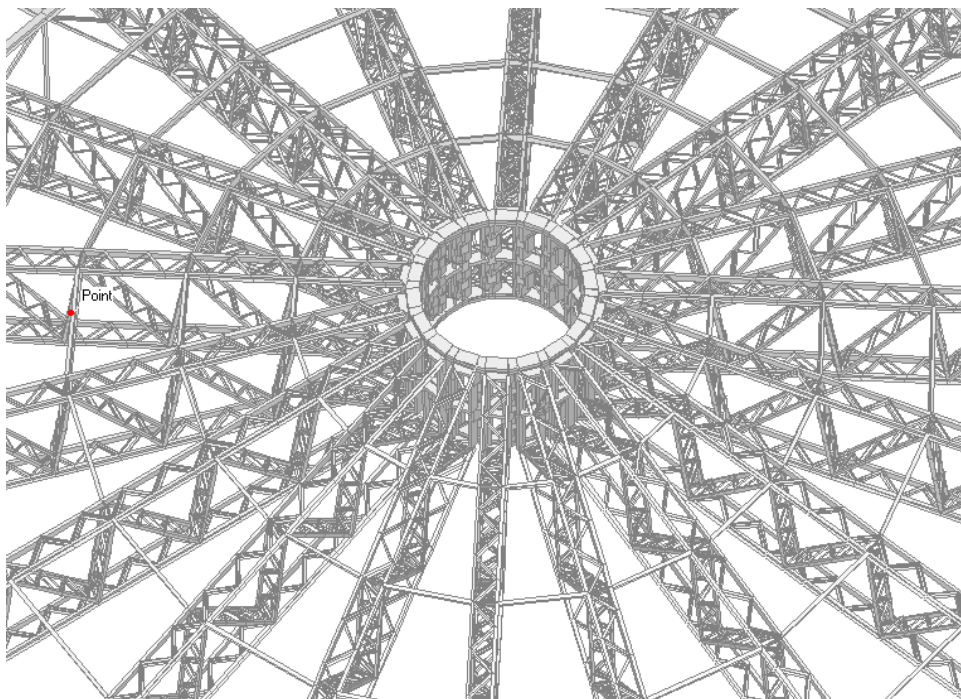


Figura 4.4 – Pormenor – Ligação Arcos Meridianos - Anel de Fecho.

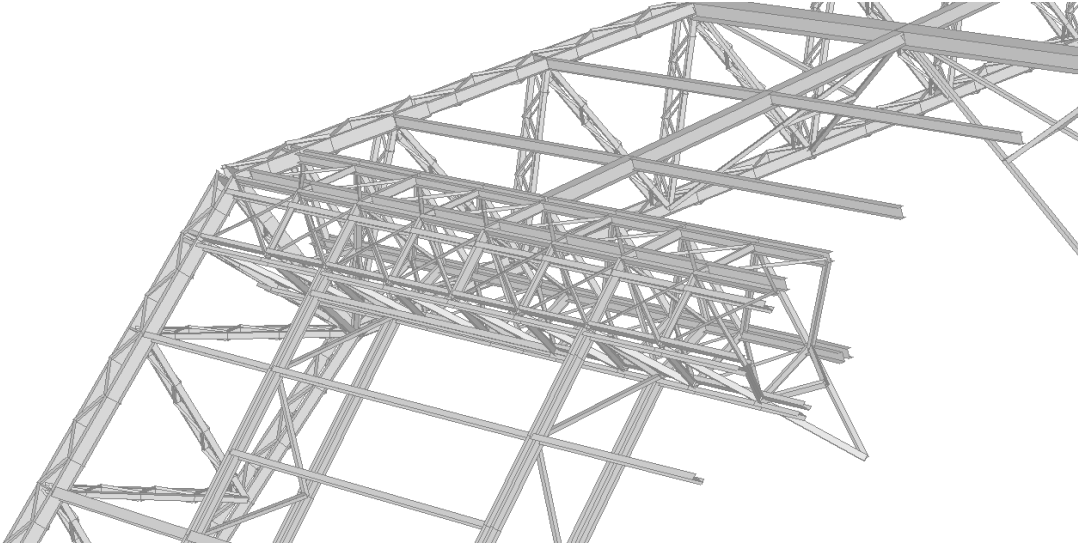


Figura 4.5 – Pormenor – Ligação Arco Meridiano com Viga Triangulada (Anel Intermédio).

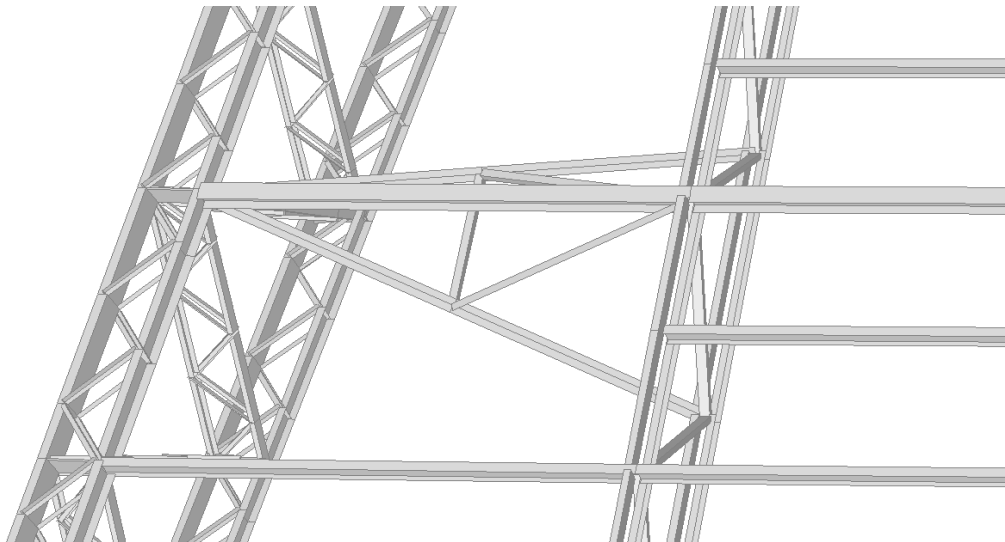


Figura 4.6 – Pormenor – Contraventamentos.

4.4 DIMENSIONAMENTO DAS BARRAS

Todos os perfis metálicos são dimensionados de acordo com a norma NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço. O coeficiente de segurança de resistência para o dimensionamento das secções é 1,0.

4.5 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

As ligações são calculadas de acordo com a norma NP EN 1993-1-8 – Projecto de estruturas de aço – Projecto de ligações, tendo-se adoptado um coeficiente de segurança de 1,25.

Para o efeito considerou-se ligações da categoria C, utilizando-se parafusos pré-esforçados da classe 10.9, nesta categoria não deverá ocorrer escorregamento no estado limite último, o valor de cálculo do esforço de corte no estado limite último não deverá exceder o valor de cálculo da resistência ao escorregamento, nem o valor de cálculo da resistência ao esmagamento.

5 MATERIAIS

Os materiais a utilizar consoante os elementos estruturais são os indicados seguidamente:

5.1 ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO

Elementos Estruturais	Classe de Resistência	Classe de Exposição Ambiental
	NP EN 206-1:2007	NP EN 206-1:2007
Elementos em Betão Armado Gigantes, sapatas, apoios intermédios, vigas de bordadura	C30/37	XC2
Betão de Regularização de fundações	C12/15	X0

Tabela 5.1 - Betão

Aço em Estruturas de Betão Armado	Classe de Resistência
Armaduras ordinárias	A 500 ER

Tabela 5.2 – Aço em Betão Armado

5.2 ESTRUTURA METÁLICA

Elementos Estruturais	Classe de Resistência
Perfis e chapas em geral	S 355
Parafusos	10.9 (DIN6914)
Porcas	10 (DIN6915)
Anilhas	10 (DIN 6916)

Tabela 5.3 - Aço em estrutura metálica

Os materiais deverão obedecer ao estabelecido em Especificações Técnicas próprias e à regulamentação correspondente em vigor.

Nota: o esquema de pintura a aplicar em todas as estruturas metálicas está indicado no documento “Condições Técnicas” que acompanha este trabalho.

6 QUANTIFICAÇÃO DE ACÇÕES

Tendo em vista a determinação e quantificação das acções de dimensionamento consideraram-se os critérios de avaliação de segurança preconizados na NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas, considerando-se os grupos de acções seguidamente indicados:

G - Cargas permanentes;

SOB - Sobrecargas;

T - Variação de Temperatura;

W - Vento;

E - Acções Sísmicas.

De seguida apresenta-se as acções e seus valores, bem como os coeficientes de combinação (ψ_i) de acordo com a NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas.

6.1 CARGAS PERMANENTES (G)

As cargas permanentes estão divididas em dois grupos. O peso próprio dos elementos estruturais (PP) e o peso de elementos "não estruturais" (RCP) tais como chapas de cobertura.

Elementos estruturais em betão armado (PP)	$Y = 25,0 \text{ kN/m}^3$
Elementos estruturais em aço (PP)	$Y = 77,0 \text{ kN/m}^3$
Chapa de cobertura + ligações + sobreposições (RCP)	$q_k = 0,10 \text{ kN/m}^2$

6.2 SOBRECARGAS (SOB)

De acordo com a NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas, foram considerados os seguintes valores de sobrecargas:

$$q_k = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

Bem como uma carga vertical (Q_k) de 1,0 kN foi utilizada alternativamente apenas para o dimensionamento das madres.

Nota: A categoria considerada foi a H – Coberturas não acessíveis.

Não foram consideradas, como sobrecarga, o peso das poeiras interiores acumuladas ao longo dos perfis.

Para o dimensionamento, os valores reduzidos considerados foram os seguintes:

$$\psi_0 = 0; \psi_1 = 0; \psi_2 = 0$$

6.3 TEMPERATURA (T)

Foram considerados os seguintes valores de variação de temperatura:

$$\Delta t = +35^\circ \text{ C e } -25^\circ \text{ C - Estruturas metálicas não protegidas;}$$

Para o dimensionamento, os valores reduzidos considerados foram os seguintes:

$$\psi_0 = 0,6; \psi_1 = 0,5; \psi_2 = 0$$

6.4 ACÇÃO DO VENTO (W)

Para a quantificação das acções do vento considerou-se o local em estudo como pertencente à Zona B, assim sendo o valor básico da velocidade de referência do vento é 30 m/s. A categoria de terreno considerada para o dimensionamento foi a categoria II.

A força exercida pelo vento na construção foi avaliada a partir das pressões nas superfícies. Sendo essa força, F_w , a soma vectorial das forças exteriores, interiores e de atrito.

Por simplicidade de cálculo e considerando o objectivo didáctico do trabalho, admitiu-se que a estrutura não possui aberturas, logo não são geradas forças interiores.

As forças de atrito apenas actuam em superfícies que se desenvolvem em direcções paralelas à direcção do vento e considerando que a geometria da estrutura se assemelha a uma cúpula de base circular, não existem superfícies que se desenvolvam em direcções paralelas à direcção do vento, por conseguinte, não foram consideradas forças de atrito.

Logo:

$$F_w = F_{w,e} = c_s c_d \times \sum w_e \times A_{ref}$$

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{pe}$$

em que:

$c_s c_d$ – coeficiente estrutural;

w_e – pressão exterior na superfície individual à altura z_e ;

A_{ref} – Área de referência da superfície individual;

$q_p(z_e)$ – pressão dinâmica de pico;

c_{pe} – coeficiente de pressão para a pressão exterior.

Para determinar o c_{pe} considerou-se uma cúpula de base circular, visto que a geometria é muito semelhante, como se pode constatar na figura 6.1. Dada a envergadura da estrutura e a sua posição no terreno, deveria ter sido efectuado um estudo recorrendo a um túnel aerodinâmico de modo a definir todos os parâmetros com vista a traduzir melhor a realidade.

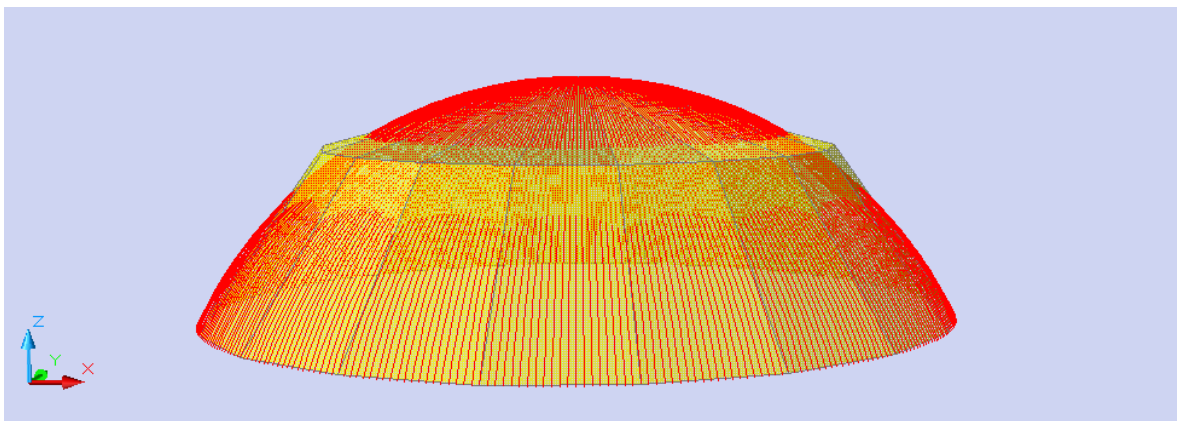


Figura 6.1 – Comparação entre cúpula de base circular (vermelho) e estrutura real (amarelo).

O c_{pe} foi assim obtido através do abaco constante na NP EN 1991-1-4, figura 6.2.

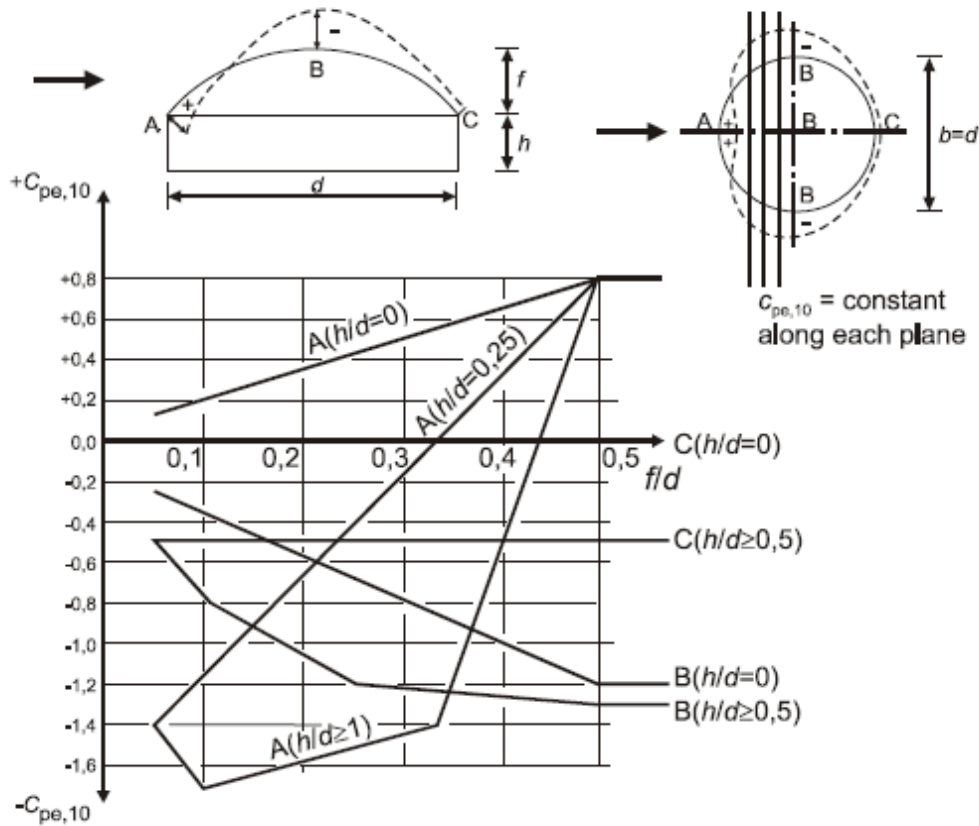


Figura 6.2 – Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para cúpulas de base circular.

Considerando $h = 0$, $b = d = 96$ m e $f = 30,8$ m, retirou-se do ábaco os valores de c_{pe} referentes aos pontos A, B e C. Os restantes pontos foram obtidos por interpolação linear.

Visto que os valores de c_{pe} são constantes ao longo de cada plano perpendicular à direcção do vento obteve-se a distribuição indicada na figura seguinte:



Figura 6.3 – Pormenor – Distribuição dos valores de cpe pelos sectores.

Para determinar a pressão dinâmica de pico, $q_p(z_e)$, de forma rigorosa dividiu-se a estrutura em quatro partes iguais, a cada parte corresponde uma altura z_e , e por conseguinte uma pressão dinâmica de pico.

z_e (m)	$q_p(z_e)$ (kN/m ²)
7,70	12,31
15,40	14,81
23,10	16,37
30,80	17,51

Tabela 6.1 – Pressão dinâmica de pico

A acção do vento é aplicada às madres da estrutura na forma de força por unidade de comprimento. Cada madre possui uma determinada área de influência à qual corresponde uma das quatro pressões dinâmicas de pico consoante a sua altura. Multiplicando a pressão dinâmica de pico com o coeficiente de pressão exterior obteve-se a pressão exercida pelo vento nas superfícies exteriores, w_e . Calculou-se posteriormente a carga total – F_w e a respectiva carga por metro linear.

Para o dimensionamento, os valores reduzidos considerados foram os seguintes:

$$\psi_0 = 0,6; \psi_1 = 0,2; \psi_2 = 0$$

6.5 ACÇÃO SÍSMICA (E)

Contrariamente à acção do vento, a acção sísmica resulta da resposta da estrutura aos movimentos impostos nas suas fundações. Isto é, a estrutura não responde a forças aplicadas directamente sobre si, mas sim, a movimentos da sua base. A análise efectuada tem em conta o facto das forças de inércia juntamente com os efeitos resultantes da distribuição da massa e rigidez da estrutura, poderem não se encontrar sincronizados com o movimento da base em termos de tempo e intensidade.

A acção sísmica foi quantificada de acordo com a NP EN 1998-1 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos, considerou-se dois tipos de acção sísmica, acção sísmica tipo 1 e acção sísmica tipo 2, através dos respectivos espectros de resposta.

Para o dimensionamento considerou-se o terreno do tipo A, zona sísmica 1.3 e 2.3 para a acção sísmica tipo 1 e acção sísmica tipo 2 respectivamente (ver figura 6.4), 5% de amortecimento viscoso, classe de importância II, regularidade em planta e regularidade em altura.

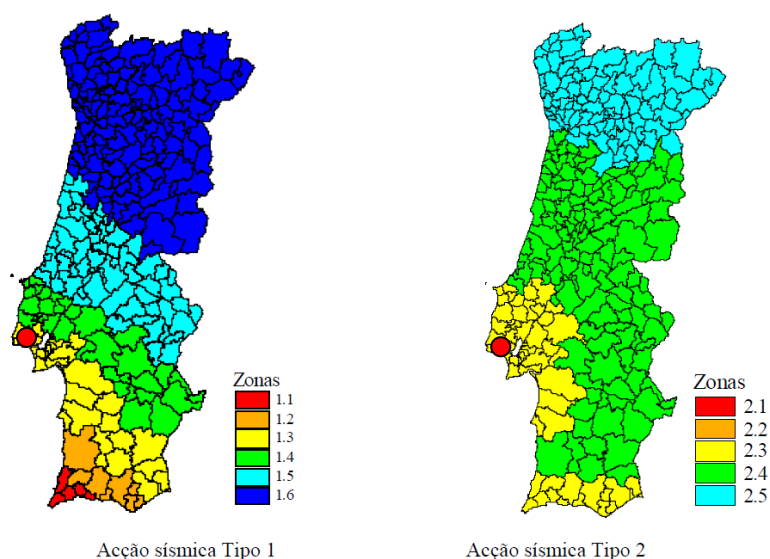


Figura 6.4 – Mapa de Zonamento Sísmico (NP EN 1998-1)

A componente vertical da acção sísmica não foi tida em conta de acordo com o disposto em 4.3.3.5.2 da NP EN 1998-1.

Adoptou-se a classe de ductilidade DCL (baixa), de acordo com NA.4.2 e), assim sendo atribuiu-se o valor de 1,5 para o coeficiente de comportamento (q) e, a resistência dos

elementos e das ligações foi avaliada de acordo com a NP EN 1993 sem quaisquer requisitos adicionais.

Em seguida apresenta-se as fórmulas preconizadas no Eurocódigo 8 para a obtenção dos espectros de cálculo:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.15)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.16)$$

Espectros de cálculo obtidos para as respectivas acções sísmicas (ver Cálculos Justificativos Subcapítulo 1.4):

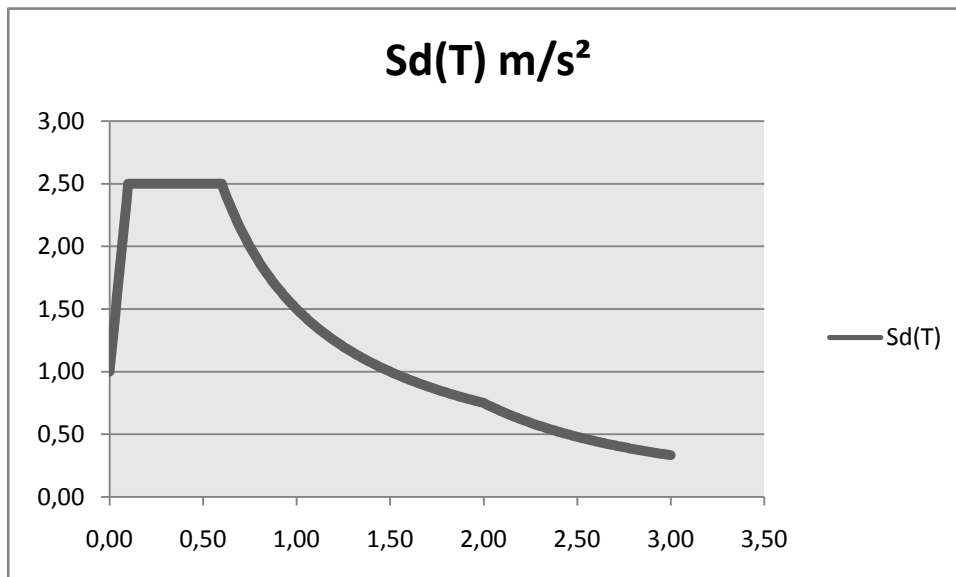


Figura 6.5 – Espectro de cálculo da acção sísmica tipo 1.

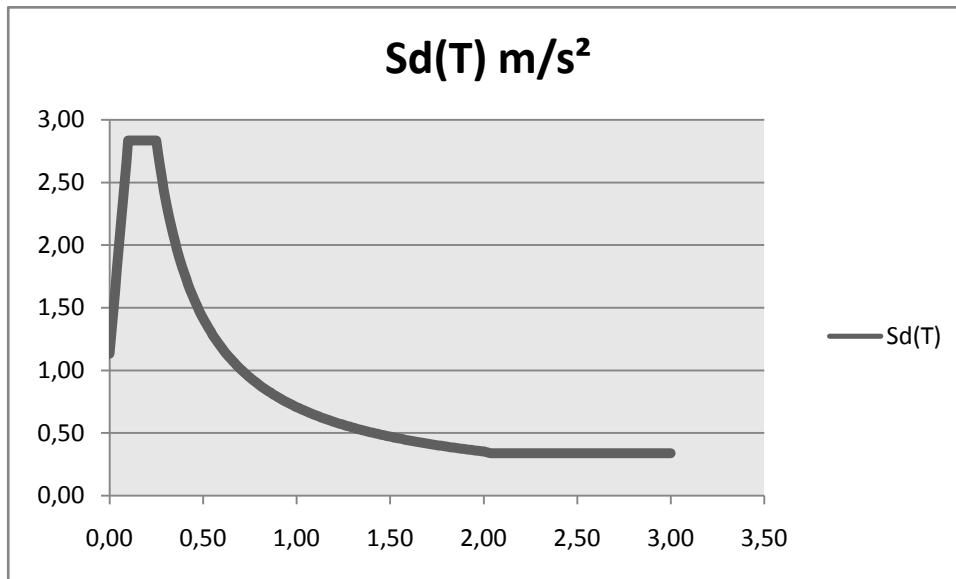
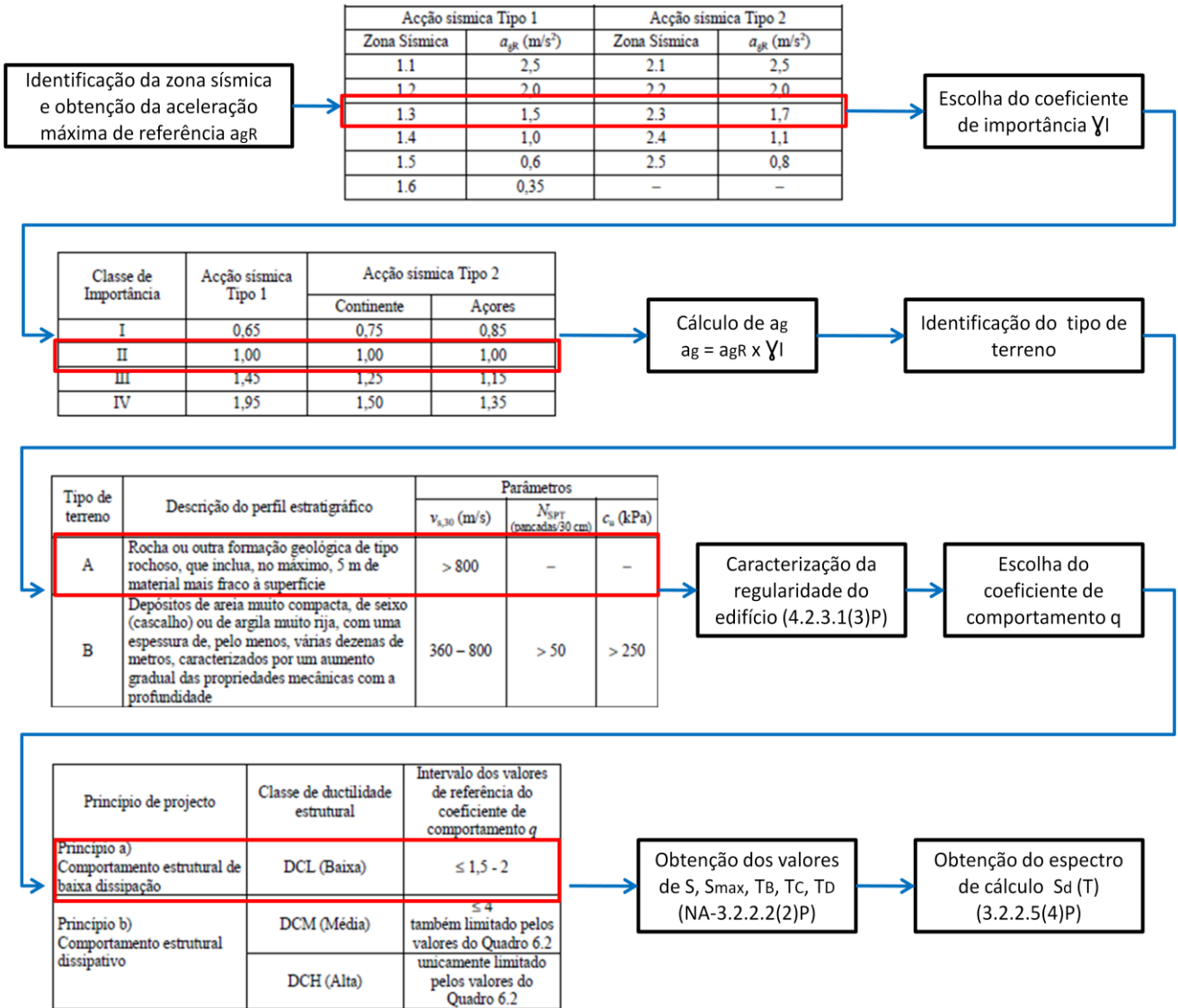


Figura 6.6 – Espectro de cálculo da acção sísmica tipo 2.

Utilizou-se o *software* SAP2000 para realizar a análise dinâmica da acção sísmica através da criação de duas funções que traduzem os espectros de cálculo acima referidos, para a acção sísmica tipo 1 e tipo 2. A combinação dos máximos modais foi efectuada pelo método CQC - “Combinação Quadrática Completa”, a combinação dos efeitos das componentes da acção sísmica foi efectuada recorrendo ao método SRSS – “Raiz Quadrada do Somatório dos Quadrados dos Esforços Devidos a Cada Componente Horizontal”.

Seguidamente apresenta-se um resumo dos procedimentos para a determinação dos espectros de resposta apresentados:



6.6 COMBINAÇÃO DE ACÇÕES E VERIFICAÇÃO DE SEGURANÇA

A quantificação e combinação de acções, nomeadamente para as acções permanentes, sobrecargas, sismo, vento e variação de temperatura, foram efectuadas de acordo com a NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas.

Depois de determinados os esforços combinados nas secções da estrutura em análise, calculou-se os parâmetros ou valores de grandezas que servem de comparação com os valores que definem os estados limites (esforços, tensões, extensões, deformações).

A segurança em relação aos Estados Limites Últimos é garantida através do método dos coeficientes parciais, determinando-se os esforços de dimensionamento resultantes das combinações seguidamente apresentadas e comparando-os com os esforços resistentes de cálculo nas secções consideradas.

Combinações de acções para verificação da resistência aos E.L.U.:

Combinação fundamental:

$$E_d = \gamma_{sd} E \{ \gamma_{g,j} G_{k,j} ; \gamma_p P ; \gamma_{q,1} Q_{k,1} ; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1$$

Combinação de acções para situações de projecto sísmicas:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; A_{Ed} ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i \geq 1$$

Combinação de acções para verificação da resistência aos E.L.Ut.:

Combinação característica:

$$E_d = E \{ G_{k,j} ; P ; Q_{k,1} ; \psi_{0,i} Q_{k,i} \} \quad j \geq 1 ; i > 1$$

COMB.	PP	RCP	SC		W		T+		T-		ET1	ET2
	γ	γ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ		
ELUSCT+	1,35	1,35	1,5	1	1,5	0,6	1,5	0,6	0	0	0	0
ELUSCT-	1,35	1,35	1,5	1	1,5	0,6	0	0	1,5	0,6	0	0
ELUWT+	1,35	1,35	1,5	0	1,5	1	1,5	0,6	0	0	0	0
ELUWT-	1,35	1,35	1,5	0	1,5	1	0	0	1,5	0,6	0	0
ELUT+	1,35	1,35	1,5	0	1,5	0,6	1,5	1	0	0	0	0
ELUT-	1,35	1,35	1,5	0	1,5	0,6	0	0	1,5	1	0	0
ELUET1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
ELUET2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
CARAC.SCT+	1	1	1	1	1	0,6	1	0,6	0	0	0	0
CARAC.SCT-	1	1	1	1	1	0,6	0	0	1	0,6	0	0
CARAC.WT+	1	1	1	0	1	1	1	0,6	0	0	0	0
CARAC.WT-	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0,6	0	0
CARAC.T+	1	1	1	0	1	0,6	1	1	0	0	0	0
CARAC.T-	1	1	1	0	1	0,6	0	0	1	1	0	0

Nomenclatura: PP – Peso Próprio; RCP – Restante Carga Permanente; SC – Sobrecarga; W – Vento; T – Temperatura; ET1 – Sismo Tipo 1; ET2 – Sismo Tipo 2.

Tabela 6.2 – Combinações de acções consideradas no dimensionamento.

A segurança em relação aos Estados Limites de Utilização consistiu no controlo das deformações da estrutura metálica.

A verificação de segurança em relação aos Estados Limites de Utilização considera-se satisfeita se não forem excedidos os limites dos deslocamentos seguidamente indicados, para as respectivas combinações de acções.

Arcos Meridianos:

Limite do deslocamento vertical:

$$\delta_{\max} = L / 250$$

onde L representa o vão da viga.

Limite do deslocamento horizontal:

$$\delta_{\text{máx}} = h / 300$$

onde h representa a altura da coluna.

Nota: Os critérios considerados para os deslocamentos máximos são os definidos na NP EN 1993-1-1 e têm carácter meramente orientativo.

7 PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Efectuou-se o pré-dimensionamento da estrutura recorrendo a um modelo simplificado (pórtico plano encastrado em ambas as extremidades) que pretende representar os arcos meridianos. As acções aplicadas ao pórtico plano foram equivalentes às acções utilizadas para o dimensionamento dos arcos meridianos da estrutura espacial, são elas:

Cargas permanentes, sobrecargas, acção do vento e temperatura ($\Delta t = +35^\circ \text{ C}$ e -25° C).

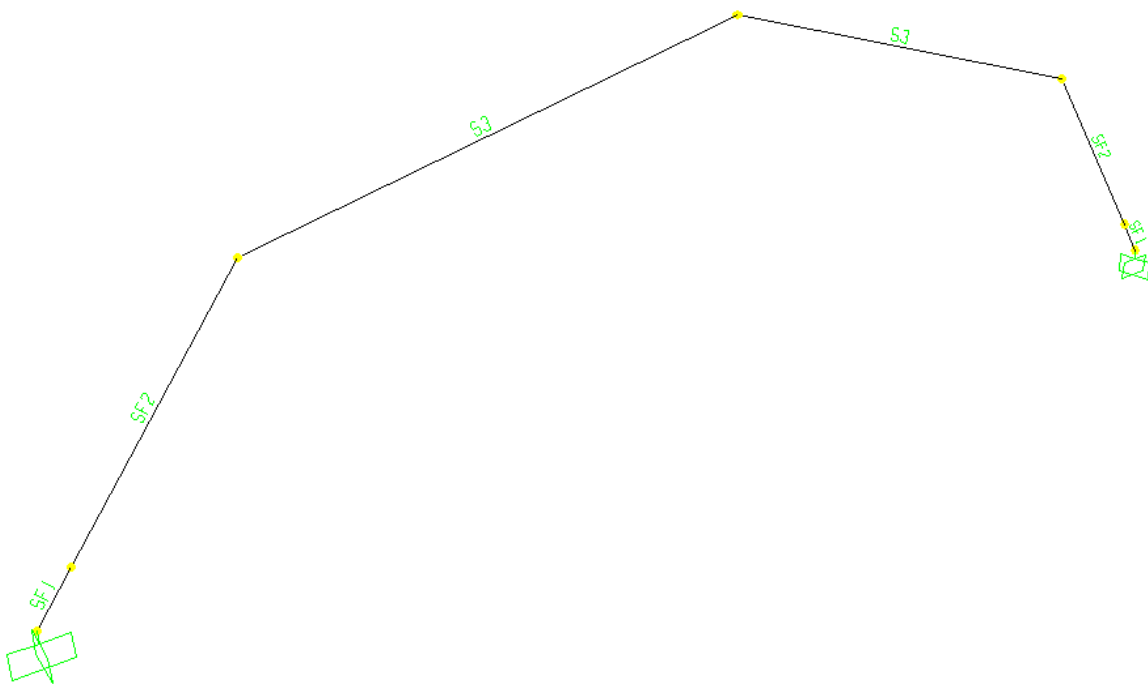


Figura 7.1 – Pórtico plano.

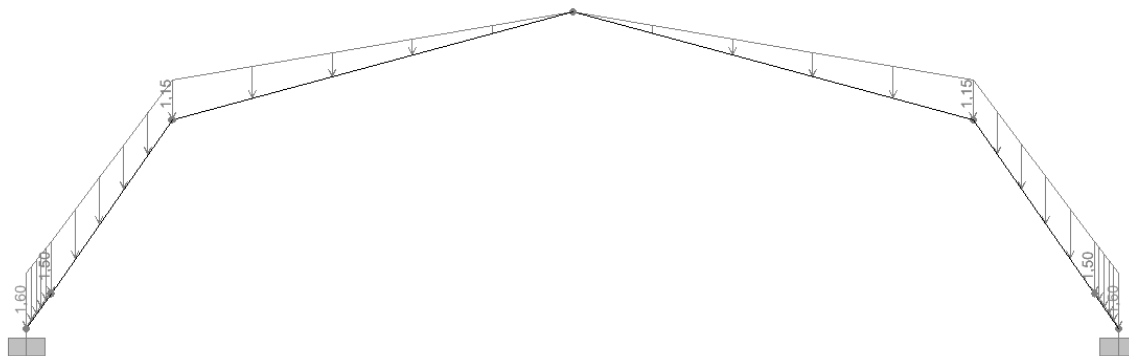


Figura 7.2 – Acção – Restante Carga Permanente.

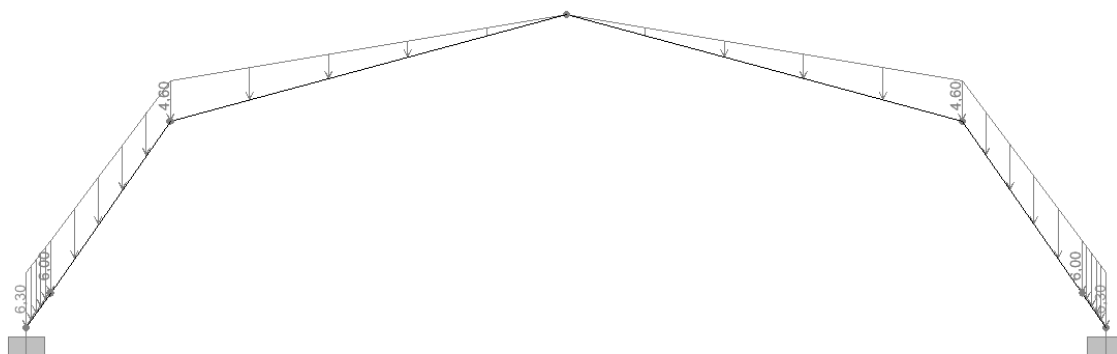


Figura 7.3 – Acção - Sobrecarga.

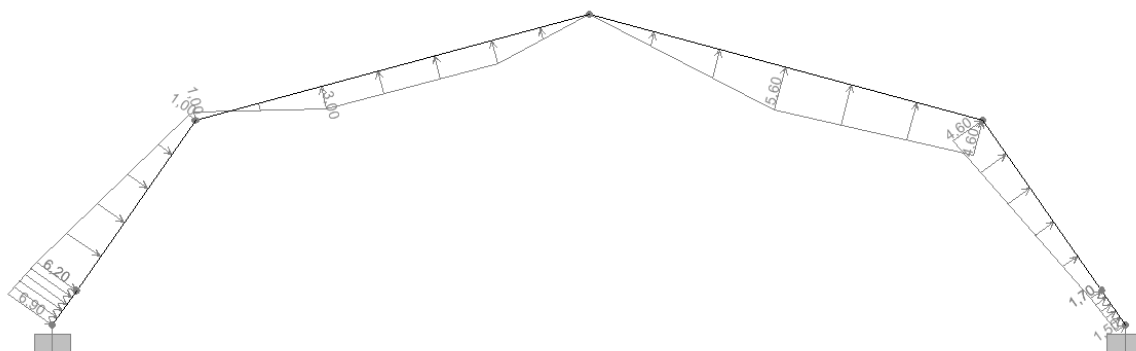


Figura 7.4 – Acção – Vento.

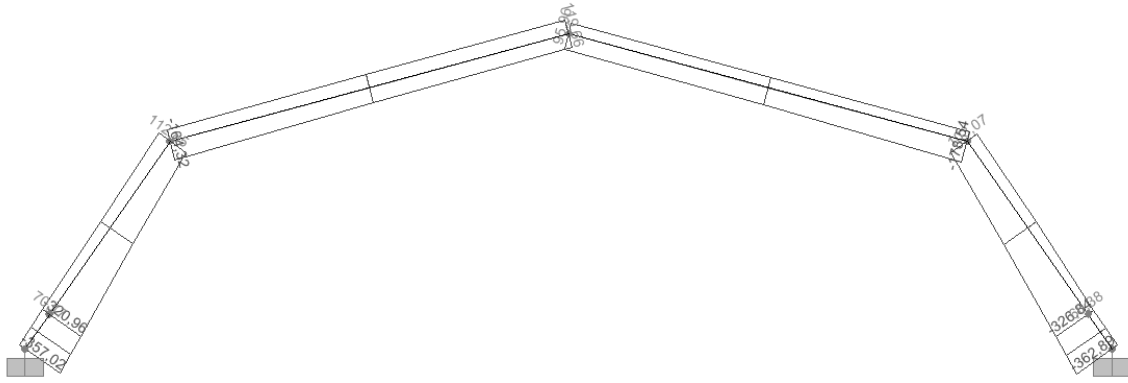


Figura 7.5 – Diagrama de esforços axiais para a combinação envolvente.

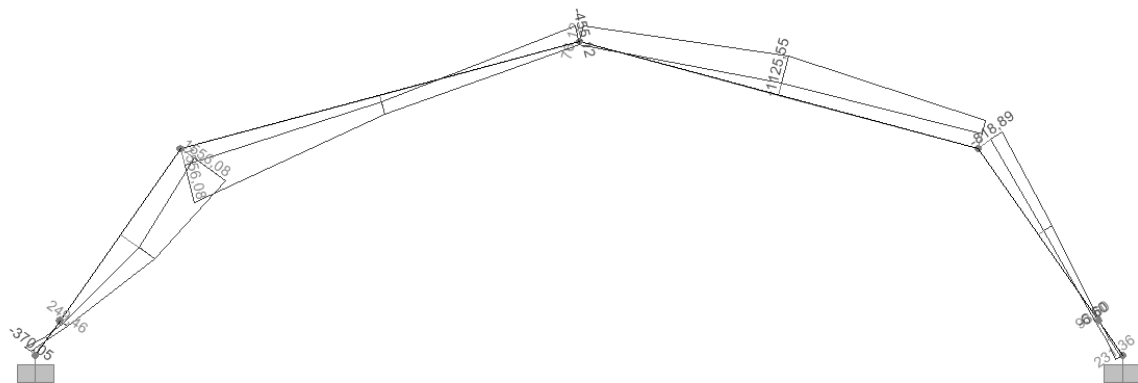


Figura 7.6 – Diagrama de momentos flectores para a combinação envolvente.

Recorrendo aos diagramas obtidos através do SAP2000 para a combinação envolvente referente às combinações utilizadas na verificação dos estados limites últimos, obtiveram-se os seguintes valores de cálculo:

Esforço axial máximo = - 363 kN / 120 kN

Momento flector máximo = 1560 kNm

Arbitrou-se uma secção genérica com as seguintes características elásticas e geométricas:

Área = 0,01 m²

Inércia eixo mais forte = 0,015 m⁴

Distância entre o centro de gravidade e as fibras extremas = 1,25 m.

Tensões instaladas na secção arbitrada:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Em que:

N – Esforço Axial Actuante de cálculo (kN)

M – Momento Flector Actuante de cálculo (kNm)

A – Área da Secção (m²)

W – Módulo de Flexão (m³)

$$W = \frac{I_y}{d}$$

Em que:

I_y – Inércia eixo mais forte (m⁴)

d – distância entre o centro de gravidade da secção e as fibras mais solicitadas (m)

$$\sigma_s = \frac{-363}{0,01} - \frac{1560}{0,015/1,25} = -166300 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_s = -166,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = \frac{120}{0,01} + \frac{1560}{0,015/1,25} = 142000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_i = 142,0 \text{ N/mm}^2$$

As tensões calculadas para a secção são inferiores às tensões de cedência do aço S355 que é de 355 N/mm².

Com base nos valores obtidos para os deslocamentos referentes às combinações utilizadas na verificação dos estados limites de utilização, obtiveram-se os seguintes resultados:

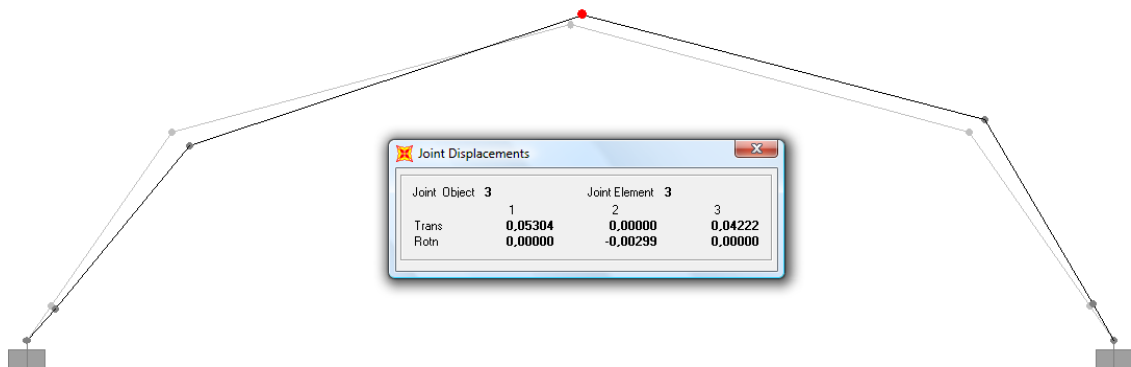


Figura 7.7 – Deslocamentos para a combinação envolvente.

As deformações calculadas no modelo simplificado conduziram aos seguintes valores:

Deslocamento vertical:

$$\delta = 0,042 \text{ m} < L / 250 = 90 / 250 = 0,36 \text{ m}$$

Deslocamento horizontal:

$$\delta = 0,053 \text{ m} < h / 300 = 30 / 300 = 0,1 \text{ m}$$

Sendo inferiores às deformações limites consideram-se verificados os estados limites de utilização para o pórtico plano.

Com base nas características elásticas e geométricas da secção pré-dimensionada no modelo simplificado, definiram-se então as seguintes secções compostas:

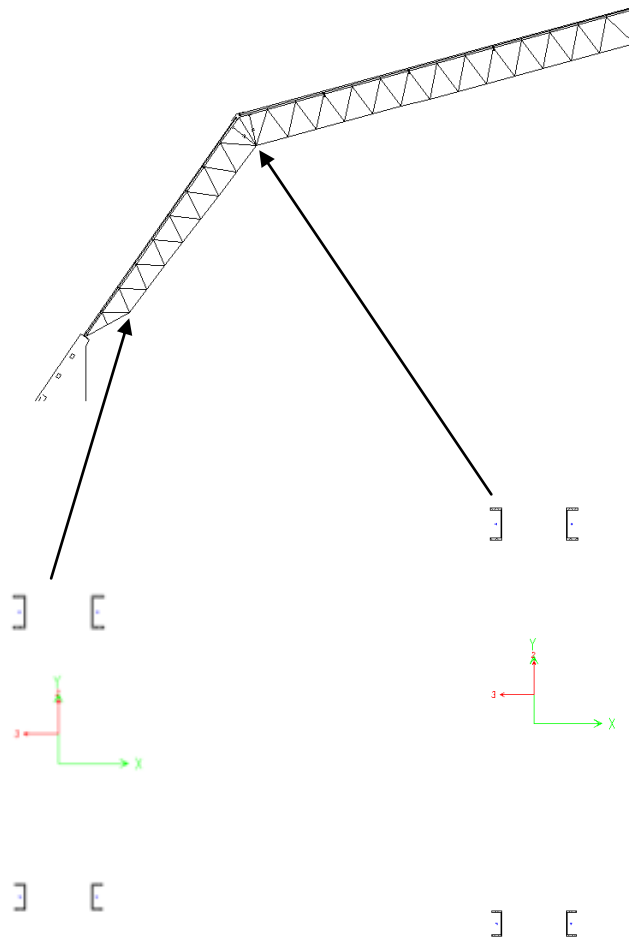


Figura 7.8 – Secção composta adoptada para a secção no arranque (esquerda), e para a da extremidade (direita) dos arcos meridianos.

A corda superior é composta por dois perfis UPN 200, e a corda inferior é composta por dois perfis UPN 160.

As áreas e inércias das secções compostas adoptadas são as seguintes:

Vertente a 55° - Secção de inércia variável:

Secção do Arranque:

$$A = 0,01124 \text{ m}^2 \quad I_y = 6,24 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad I_z = 5,45 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Distância entre centros de gravidade: horiz.=0,4 m vertical = 1,5 m

Secção do Topo:

$$A = 0,01124 \text{ m}^2 \quad I_y = 0,0172 \text{ m}^4 \quad I_z = 5,45 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Distância entre centros de gravidade: horiz.=0,4 m vertical = 2,5 m

Vertente a 15° - Secção de inércia constante:

$$A = 0,01124 \text{ m}^2 \quad I_y = 0,0172 \text{ m}^4 \quad I_z = 5,45 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Distância entre centros de gravidade: horiz.=0,4 m vertical = 2,5 m

Na vertente a 55° a inércia da secção varia de modo a “acompanhar” o andamento do diagrama de momentos flectores, diminuindo no sentido do arranque.

8 PROCESSO CONSTRUTIVO

Para a montagem da estrutura metálica procede-se à instalação da torre principal, colocando sobre esta o anel de fecho apoiado em macacos hidráulicos.

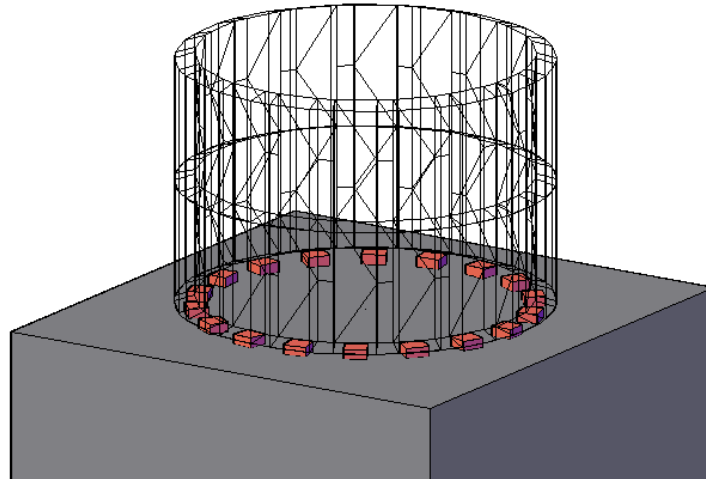


Figura 8.1 – Torre Principal.

Procede-se a montagem das torres secundárias assentes em caixas de areia cujo esvaziamento individual e em conjunto é controlado por um sistema de válvulas, de modo a garantir que as torres secundárias se encontram todas à mesma cota altimétrica.

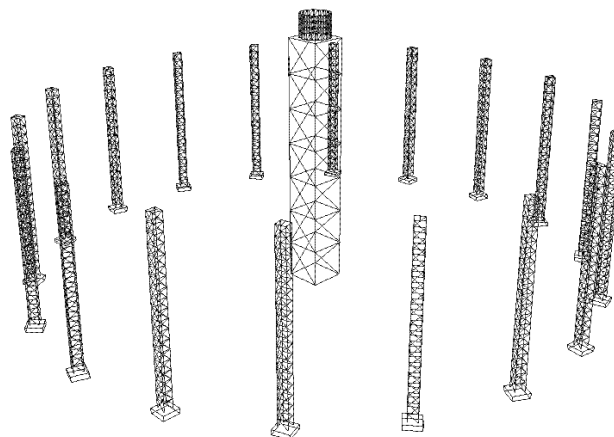


Figura 8.2 – Torres Secundárias.

Seguidamente são construídos os gigantes e os apoios intermédios, garantindo-se que os apoios onde assentam os arcos meridianos apresentem as mesmas cotas recorrendo se necessário à utilização de utilização de forras.

Os arcos meridianos apoiam-se sobre a torre secundária e são aparafusados ao anel de fecho, mantendo uma folga entre estes e os respectivos gigantes. A montagem dos arcos meridianos é feita sucessivamente aos pares diametralmente oposta. Monta-se em seguida a viga triangulada que faz a ligação entre pórticos adjacentes, formando assim sectores.

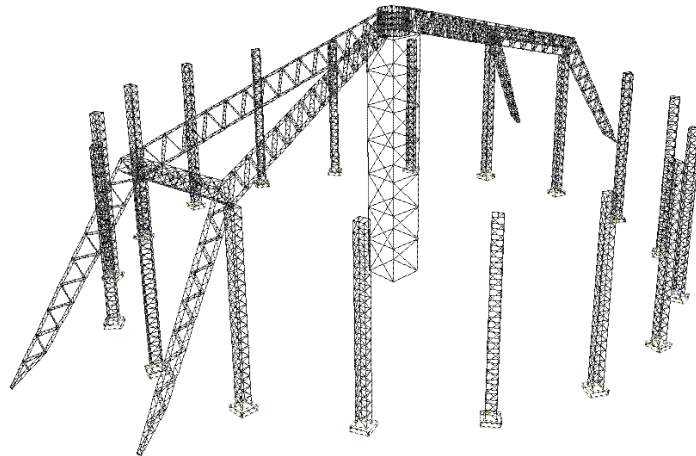


Figura 8.3 – Dois Sectores Montados Simetricamente (3D).

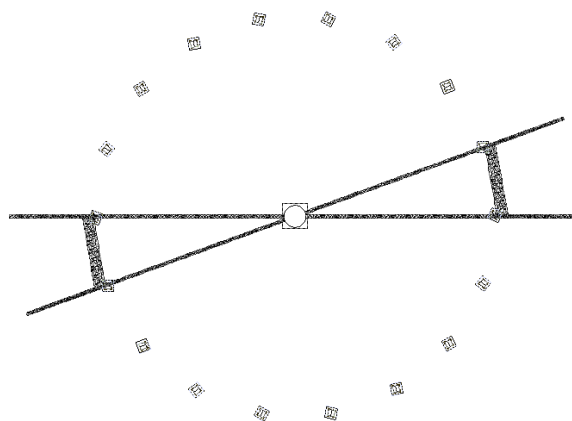


Figura 8.4 – Sectores Montados Simetricamente (Planta).

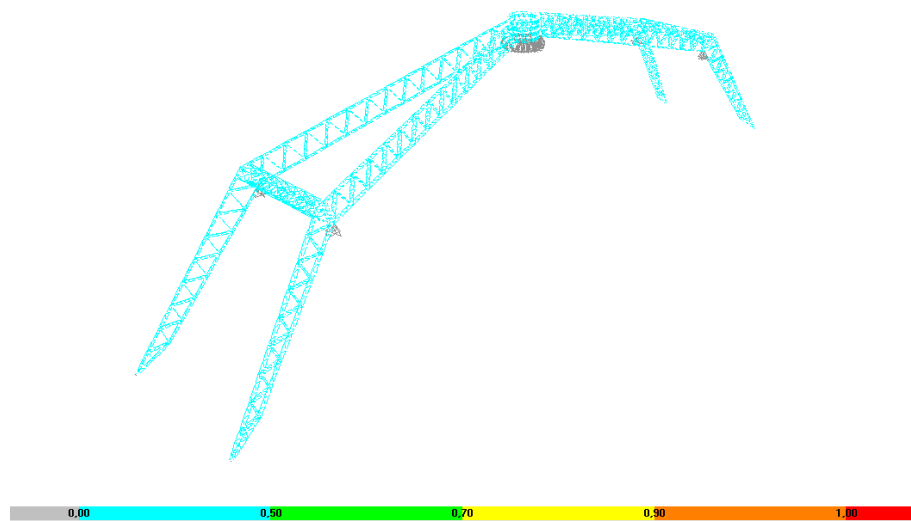


Figura 8.5 – Rádios dos esforços de dimensionamento dos Elementos Metálicos montados referentes à 1ª Fase.

Repete-se a montagem dos sectores de forma simétrica.

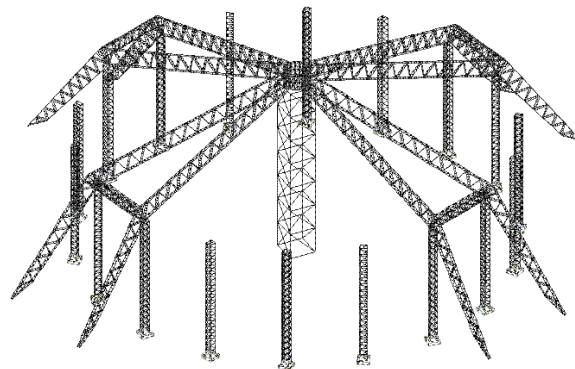


Figura 8.6 – Quatro Sectores Montados Simetricamente (3D).

Depois dos 18 sectores estarem montados procede-se ao “abaixamento” dos macacos hidráulicos que servem de suporte ao anel de fecho, desmontando-se a torre principal.

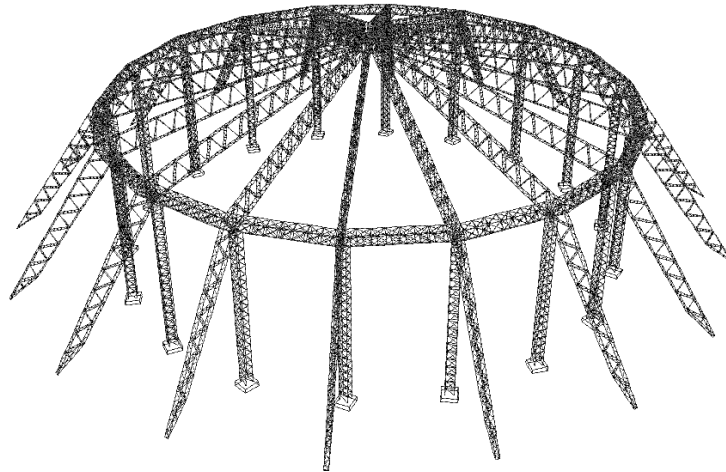


Figura 8.7 – Estrutura Apoiada nas Torres Secundárias (3D).

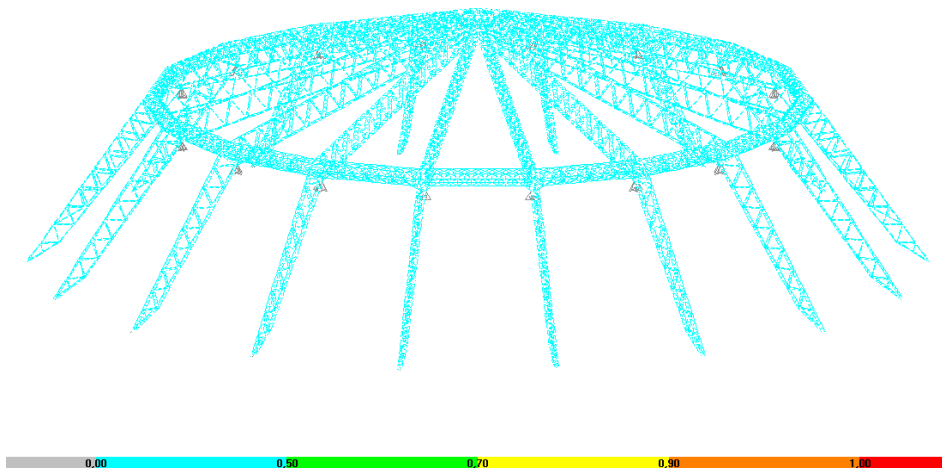


Figura 8.8 – Rácios de dimensionamento dos Elementos Metálicos correspondentes à 2ª Fase.

Verificam-se as folgas entre os arcos meridianos e os gigantes, de forma a garantir que a mesma é igual.

Procede-se depois à abertura das válvulas das caixas de areia de forma sincronizada com o intuito da estrutura assentar toda ao mesmo tempo sobre os gigantes, de modo que as peças não fiquem sujeitas a esforços secundários significativos.

Montam-se os pórticos secundários, madres e chapas de revestimento.

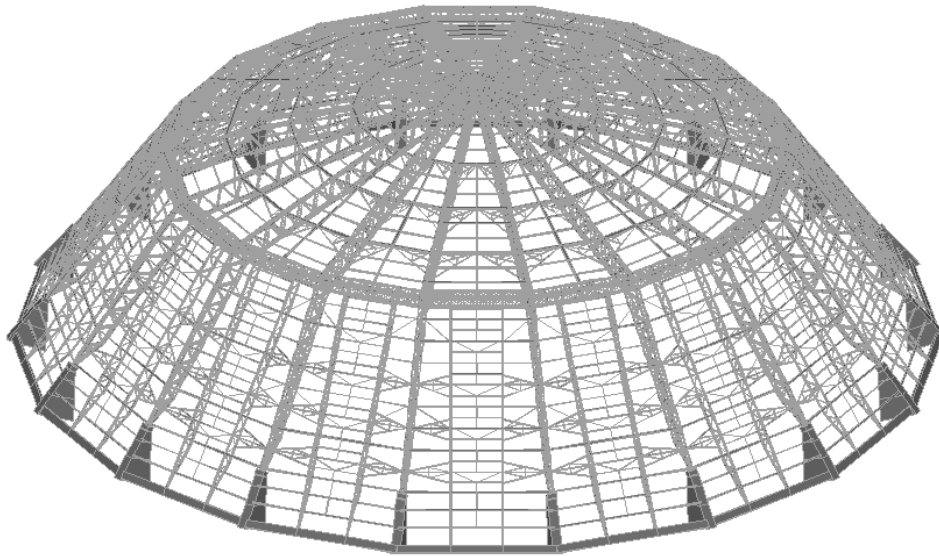


Figura 8.9 – Cúpula Concluída.

9 REGULAMENTAÇÃO

Para efectuar a análise e dimensionamento das estruturas adoptaram-se os critérios de verificação de segurança definidos na regulamentação abaixo indicada:

NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas;

NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas. Parte 1-1 Acções gerais;

NP EN 1991-1-4 – Acções em estruturas. Parte 1-4 Acções do vento;

NP EN 1992-1-1 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios;

NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios;

NP EN 1993-1-8 – Projecto de estruturas de aço. Parte 1-8 Projecto de ligações;

NP EN 1998-1 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1 Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios;

10 SEGURANÇA

No que se refere à segurança, deverá ser feita a identificação dos riscos inerentes aos trabalhos a executar tendo em vista a sua redução. Entre outros destacam-se os seguintes:

- Risco de soterramento;
- Risco de queda em altura;
- Risco de queda de objectos;
- Risco de atropelamento.

De referir que em todas as Obras especialmente as deste tipo, deve ser dada especial atenção a todos os procedimentos de segurança necessários para que a obra seja realizada em Oficina, e principalmente durante as operações de Montagem de modo a não colocar em risco os seus intervenientes. Especial cuidado deve ser dado aos trabalhos em altura como forma de garantir a segurança de todas as pessoas afectas à obra bem como impedir a queda de objectos.

O empreiteiro deverá dispor de todos os meios necessários de modo a minimizar os riscos associados à execução dos trabalhos previstos.

Assim, deverão ser consideradas todas as normas e procedimentos internos de segurança para:

- Aquisição, distribuição e controlo de equipamentos de protecção individual;
- Aquisição de equipamentos de protecção colectiva;
- Manter no estaleiro as necessárias condições de ordem, arrumação e limpeza e as adequadas condições de salubridade;
- Garantir as condições de acesso, deslocação e circulação necessárias à segurança de todos os postos de trabalho de modo a definir áreas de trabalho, de circulação (trabalhadores e viaturas) e de armazenagens temporárias;
- Garantir a correcta movimentação dos materiais;
- Delimitar e organizar as zonas de armazenagem de materiais;

- Verificar o estado de manutenção e controlo das instalações e equipamentos antes da sua entrada em funcionamento, definindo igualmente intervalos regulares, durante a laboração, para essas verificações.

Deverão ainda ser elaborados os seguintes planos de segurança:

Plano de Sinalização do Estaleiro: Onde se estabelece a sinalização de segurança necessária ao estaleiro e respectiva localização;

Plano de Emergência do Estaleiro: Estrutura hierárquica de emergência, equipas de emergência, comunicações e procedimentos em situação de emergência.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em conta o âmbito deste trabalho julgamos que os objectivos definidos foram alcançados visto que:

- A aplicação dos conhecimentos previamente adquiridos foi conseguida;
- A aplicação dos Eurocódigos foi feita sempre que possível;
- As Folhas de Cálculo desenvolvidas com base nas expressões definidas no EC3 confirmaram os resultados obtidos através do software de cálculo escolhido;
- O pré-dimensionamento efectuado serviu de base para o estudo dos vários modelos desenvolvidos em 3D tendo-se obtido esforços e deslocamentos da mesma ordem de grandeza.

As ligações aparafusadas foram estudadas em fase de estudo prévio, necessitando de uma revisão cuidada em fase de projecto de execução.

A estrutura estudada possui um potencial de melhoria em termos de concepção e constituição muito significativo.

Todo o trabalho foi de grande utilidade para alcançar os objectivos propostos.

De modo a poder responder mais afirmativamente na minha actividade futura de projectista, irei aprofundar o conhecimento relativo ao dimensionamento e concepção de ligações aparafusadas e soldadas, bem como ao estudo do e dimensionamento de colunas-vigas compostas treliçadas espaciais que não foram tratadas neste trabalho.



A – PEÇAS ESCRITAS
III – CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Índice

1	ACÇÕES	1
1.1	RESTANTE CARGA PERMANENTE	1
1.2	SOBRECARGA	2
1.3	VENTO	3
1.4	ESPECTRO – ACÇÃO SÍSMICA.....	12
2	ANÁLISE GLOBAL DA ESTRUTURA.....	13
2.1	MODOS DE VIBRAÇÃO.....	13
2.2	DESLOCAMENTOS LATERAIS	17
3	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	18
3.1	VERIFICAÇÃO DAS BARRAS ELU SEGUNDO NP EN 1993-1-1 (SAP2000)...	18
3.2	VERIFICAÇÃO DAS BARRAS ELU SEGUNDO NP EN 1993-1-1 (TABELA DE CÁLCULO EXCEL)	35
3.2.1	ARCOS MERIDIANOS CORDÕES INFERIORES	42
3.2.2	ARCOS MERIDIANOS CORDÕES SUPERIORES.....	48
3.2.3	ARCOS MERIDIANOS DIAGONAIS	57
3.2.4	PÓRTICOS SECUNDÁRIOS CORDÕES INFERIORES	63
3.2.5	PÓRTICOS SECUNDÁRIOS CORDÕES SUPERIORES	69
3.2.6	PÓRTICOS SECUNDÁRIOS DIAGONAIS.....	75
3.2.7	MADRES.....	81
3.3	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES SEGUNDO NP EN 1993-1-8 (TABELA DE CÁLCULO EXCEL)	87
3.4	VERIFICAÇÃO ELU _t SEGUNDO A NP EN 1993-1-1	91

Índice de Figuras

Figura 2.1 - 1º Modo $T= 0,94$ s ; $f= 1,06$ Hz	13
Figura 2.2 – 2º Modo $T= 0,94$ s ; $f= 1,06$ Hz.....	13
Figura 2.3 – 3º Modo $T= 0,87$ s ; $f= 1,16$ Hz.....	14
Figura 3.1 - Rácios dos elementos metálicos – Visão Geral.	18
Figura 3.2 – Rácios dos elementos metálicos – Arco Meridiano.	18
Figura 3.3 – Rácios dos elementos metálicos – Arco Meridiano.	19
Figura 3.4 – Rácios dos elementos metálicos – Pormenor Arco Meridiano.....	19
Figura 3.5 – Rácios dos elementos metálicos – Pormenor Arco Meridiano.....	20
Figura 3.6 – Rácios dos elementos metálicos – Pórticos Secundários.....	20
Figura 3.7 – Rácios dos elementos metálicos – Pórtico Secundário mais solicitado.	21
Figura 3.8 – Rácios dos elementos metálicos – Anel Intermédio.	21
Figura 3.9 – Rácios dos elementos metálicos – Anel Intermédio zona mais solicitada.....	22
Figura 3.10 – Rácios dos elementos metálicos – Anel de Fecho.	22
Figura 3.11 – Rácios dos elementos metálicos – Madres.	23
Figura 3.12 – Rácios dos elementos metálicos – Madres sector mais solicitado.....	23
Figura 3.13 – Rácios dos elementos metálicos – Contraventamentos.	24
Figura 3.14 – Rácios dos elementos metálicos – Contraventamentos mais solicitados. ..	24
Figura 3.15 – Exemplo de Folha de Cálculo para Flexão Composta com Compressão. ...	39
Figura 3.16 – Arco Meridiano e Sectores mais solicitados.	41
Figura 3.17 – Deslocamentos obtidos ELUt.	91

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 – Cálculo Restante Carga Permanente	1
Tabela 1.2 – Cálculo Sobrecarga.....	2
Tabela 1.3 - Cálculo Vento (Sector 1 e 18)	3
Tabela 1.4 - Cálculo Vento (Sector 2 e 17)	4
Tabela 1.5 - Cálculo Vento (Sector 3 e 16)	5
Tabela 1.6 - Cálculo Vento (Sector 4 e 15)	6
Tabela 1.7 - Cálculo Vento (Sector 5 e 14)	7
Tabela 1.8 - Cálculo Vento (Sector 6 e 13)	8
Tabela 1.9 - Cálculo Vento (Sector 6 e 13)	9
Tabela 1.10 - Cálculo Vento (Sector 8 e 11)	10
Tabela 1.11 - Cálculo Vento (Sector 9 e 10)	11
Tabela 1.12 – Espectro Acção Sísmica Tipo1 (Esq.) e Tipo2 (Dta.).....	12
Tabela 2.1 - Períodos e Frequências Modais (Primeiros 100 Modos)	16
Tabela 3.1 - Rácio dos elementos metálicos (Só rácios superiores a 60%)	25

1 ACÇÕES

1.1 RESTANTE CARGA PERMANENTE

Sector 1 a 18							
Madre	Área Influência			Q	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	0,10	4,73	16,52	0,29
2	16,156	1,889	30,52	0,10	3,05	16,14	0,19
3	15,778	2,014	31,78	0,10	3,18	15,33	0,21
4	15,35	2,238	34,35	0,10	3,44	14,90	0,23
5	14,882	2,338	34,79	0,10	3,48	14,43	0,24
6	14,414	2,338	33,70	0,10	3,37	13,96	0,24
7	13,946	2,338	32,61	0,10	3,26	13,50	0,24
8	13,478	2,338	31,51	0,10	3,15	13,03	0,24
9	13,01	2,338	30,42	0,10	3,04	12,56	0,24
10	12,542	2,338	29,32	0,10	2,93	12,09	0,24
11	12,074	2,246	27,12	0,10	2,71	11,62	0,23
12	11,643	1,277	14,87	0,10	1,49	11,20	0,13
13	11,534	1,249	14,41	0,10	1,44	11,09	0,13
14	10,821	2,197	23,77	0,10	2,38	10,37	0,23
15	10,039	2,297	23,06	0,10	2,31	9,59	0,24
16	9,258	2,297	21,27	0,10	2,13	8,81	0,24
17	8,476	2,297	19,47	0,10	1,95	8,03	0,24
18	7,695	2,297	17,68	0,10	1,77	7,25	0,24
19	6,913	2,297	15,88	0,10	1,59	6,47	0,25
20	6,131	2,297	14,08	0,10	1,41	5,68	0,25
21	5,35	2,297	12,29	0,10	1,23	4,90	0,25
22	4,568	2,297	10,49	0,10	1,05	4,12	0,25
23	3,786	2,297	8,70	0,10	0,87	3,34	0,26
24	3,005	2,297	6,90	0,10	0,69	2,56	0,27
25	2,223	2,297	5,11	0,10	0,51	1,78	0,29
26	1,442	2,262	3,26	0,10	0,33	0,99	0,33

Nota: A numeração das madres está organizada de forma ascendente.

Tabela 1.1 – Cálculo Restante Carga Permanente

1.2 SOBRECARGA

Sector 1 a 18							
Madre	Área Influência			Q	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	0,40	18,93	16,52	1,15
2	16,156	1,889	30,52	0,40	12,21	16,14	0,76
3	15,778	2,014	31,78	0,40	12,71	15,33	0,83
4	15,35	2,238	34,35	0,40	13,74	14,90	0,92
5	14,882	2,338	34,79	0,40	13,92	14,43	0,96
6	14,414	2,338	33,70	0,40	13,48	13,96	0,97
7	13,946	2,338	32,61	0,40	13,04	13,50	0,97
8	13,478	2,338	31,51	0,40	12,60	13,03	0,97
9	13,01	2,338	30,42	0,40	12,17	12,56	0,97
10	12,542	2,338	29,32	0,40	11,73	12,09	0,97
11	12,074	2,246	27,12	0,40	10,85	11,62	0,93
12	11,643	1,277	14,87	0,40	5,95	11,20	0,53
13	11,534	1,249	14,41	0,40	5,76	11,09	0,52
14	10,821	2,197	23,77	0,40	9,51	10,37	0,92
15	10,039	2,297	23,06	0,40	9,22	9,59	0,96
16	9,258	2,297	21,27	0,40	8,51	8,81	0,97
17	8,476	2,297	19,47	0,40	7,79	8,03	0,97
18	7,695	2,297	17,68	0,40	7,07	7,25	0,98
19	6,913	2,297	15,88	0,40	6,35	6,47	0,98
20	6,131	2,297	14,08	0,40	5,63	5,68	0,99
21	5,35	2,297	12,29	0,40	4,92	4,90	1,00
22	4,568	2,297	10,49	0,40	4,20	4,12	1,02
23	3,786	2,297	8,70	0,40	3,48	3,34	1,04
24	3,005	2,297	6,90	0,40	2,76	2,56	1,08
25	2,223	2,297	5,11	0,40	2,04	1,78	1,15
26	1,442	2,262	3,26	0,40	1,30	0,99	1,32

Nota: A numeração das madres está organizada de forma ascendente.

Tabela 1.2 – Cálculo Sobrecarga

1.3 VENTO

Sector 1 e 18									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	0,50	1,23	0,62	25,41	16,52	1,54
2	16,156	1,889	30,52	0,45	1,23	0,55	14,75	16,14	0,91
3	15,778	2,014	31,78	0,41	1,23	0,50	13,99	15,33	0,91
4	15,35	2,238	34,35	0,38	1,23	0,47	14,02	14,90	0,94
5	14,882	2,338	34,79	0,34	1,48	0,50	15,28	14,43	1,06
6	14,414	2,338	33,70	0,30	1,48	0,44	13,06	13,96	0,94
7	13,946	2,338	32,61	0,27	1,48	0,40	11,37	13,50	0,84
8	13,478	2,338	31,51	0,25	1,48	0,37	10,18	13,03	0,78
9	13,01	2,338	30,42	0,20	1,64	0,33	8,68	12,56	0,69
10	12,542	2,338	29,32	0,16	1,64	0,26	6,70	12,09	0,55
11	12,074	2,246	27,12	0,12	1,64	0,20	4,64	11,62	0,40
12	11,643	1,277	14,87	0,08	1,64	0,13	1,70	11,20	0,15
13	11,534	1,249	14,41	0,07	1,64	0,11	1,44	11,09	0,13
14	10,821	2,197	23,77	0,03	1,64	0,05	1,02	10,37	0,10
15	10,039	2,297	23,06	-0,03	1,64	-0,05	-0,99	9,59	-0,10
16	9,258	2,297	21,27	-0,10	1,75	-0,18	-3,25	8,81	-0,37
17	8,476	2,297	19,47	-0,16	1,75	-0,28	-4,76	8,03	-0,59
18	7,695	2,297	17,68	-0,26	1,75	-0,46	-7,02	7,25	-0,97
19	6,913	2,297	15,88	-0,30	1,75	-0,53	-7,27	6,47	-1,12
20	6,131	2,297	14,08	-0,36	1,75	-0,63	-7,74	5,68	-1,36
21	5,35	2,297	12,29	-0,42	1,75	-0,74	-7,88	4,90	-1,61
22	4,568	2,297	10,49	-0,49	1,75	-0,86	-7,85	4,12	-1,91
23	3,786	2,297	8,70	-0,54	1,75	-0,95	-7,17	3,34	-2,15
24	3,005	2,297	6,90	-0,60	1,75	-1,05	-6,32	2,56	-2,47
25	2,223	2,297	5,11	-0,67	1,75	-1,17	-5,22	1,78	-2,93
26	1,442	2,262	3,26	-0,72	1,75	-1,26	-3,59	0,99	-3,62

Tabela 1.3 - Cálculo Vento (Sector 1 e 18)

Sector 2 e 17									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	0,31	1,23	0,38	15,75	16,52	0,95
2	16,156	1,889	30,52	0,29	1,23	0,36	9,50	16,14	0,59
3	15,778	2,014	31,78	0,26	1,23	0,32	8,87	15,33	0,58
4	15,35	2,238	34,35	0,24	1,23	0,30	8,85	14,90	0,59
5	14,882	2,338	34,79	0,21	1,48	0,31	9,44	14,43	0,65
6	14,414	2,338	33,70	0,17	1,48	0,25	7,40	13,96	0,53
7	13,946	2,338	32,61	0,13	1,48	0,19	5,48	13,50	0,41
8	13,478	2,338	31,51	0,10	1,48	0,15	4,07	13,03	0,31
9	13,01	2,338	30,42	0,07	1,64	0,11	3,04	12,56	0,24
10	12,542	2,338	29,32	0,04	1,64	0,07	1,67	12,09	0,14
11	12,074	2,246	27,12	0,01	1,64	0,02	0,39	11,62	0,03
12	11,643	1,277	14,87	-0,03	1,64	-0,05	-0,64	11,20	-0,06
13	11,534	1,249	14,41	-0,04	1,64	-0,07	-0,82	11,09	-0,07
14	10,821	2,197	23,77	-0,08	1,64	-0,13	-2,71	10,37	-0,26
15	10,039	2,297	23,06	-0,15	1,64	-0,25	-4,94	9,59	-0,51
16	9,258	2,297	21,27	-0,20	1,75	-0,35	-6,49	8,81	-0,74
17	8,476	2,297	19,47	-0,26	1,75	-0,46	-7,73	8,03	-0,96
18	7,695	2,297	17,68	-0,31	1,75	-0,54	-8,37	7,25	-1,15
19	6,913	2,297	15,88	-0,36	1,75	-0,63	-8,73	6,47	-1,35
20	6,131	2,297	14,08	-0,42	1,75	-0,74	-9,03	5,68	-1,59
21	5,35	2,297	12,29	-0,47	1,75	-0,82	-8,82	4,90	-1,80
22	4,568	2,297	10,49	-0,53	1,75	-0,93	-8,49	4,12	-2,06
23	3,786	2,297	8,70	-0,58	1,75	-1,02	-7,70	3,34	-2,31
24	3,005	2,297	6,90	-0,62	1,75	-1,09	-6,53	2,56	-2,55
25	2,223	2,297	5,11	-0,70	1,75	-1,23	-5,46	1,78	-3,07
26	1,442	2,262	3,26	-0,75	1,75	-1,31	-3,74	0,99	-3,77

Tabela 1.4 - Cálculo Vento (Sector 2 e 17)

Sector 3 e 16									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	0,02	1,23	0,02	1,02	16,52	0,06
2	16,156	1,889	30,52	0,00	1,23	0,00	0,00	16,14	0,00
3	15,778	2,014	31,78	-0,03	1,23	-0,04	-1,02	15,33	-0,07
4	15,35	2,238	34,35	-0,04	1,23	-0,05	-1,48	14,90	-0,10
5	14,882	2,338	34,79	-0,07	1,48	-0,10	-3,15	14,43	-0,22
6	14,414	2,338	33,70	-0,09	1,48	-0,13	-3,92	13,96	-0,28
7	13,946	2,338	32,61	-0,12	1,48	-0,18	-5,05	13,50	-0,37
8	13,478	2,338	31,51	-0,15	1,48	-0,22	-6,11	13,03	-0,47
9	13,01	2,338	30,42	-0,16	1,64	-0,26	-6,95	12,56	-0,55
10	12,542	2,338	29,32	-0,19	1,64	-0,31	-7,95	12,09	-0,66
11	12,074	2,246	27,12	-0,23	1,64	-0,38	-8,90	11,62	-0,77
12	11,643	1,277	14,87	-0,24	1,64	-0,39	-5,09	11,20	-0,45
13	11,534	1,249	14,41	-0,25	1,64	-0,41	-5,14	11,09	-0,46
14	10,821	2,197	23,77	-0,28	1,64	-0,46	-9,50	10,37	-0,92
15	10,039	2,297	23,06	-0,34	1,64	-0,56	-11,19	9,59	-1,17
16	9,258	2,297	21,27	-0,36	1,75	-0,63	-11,69	8,81	-1,33
17	8,476	2,297	19,47	-0,41	1,75	-0,72	-12,19	8,03	-1,52
18	7,695	2,297	17,68	-0,44	1,75	-0,77	-11,88	7,25	-1,64
19	6,913	2,297	15,88	-0,49	1,75	-0,86	-11,88	6,47	-1,84
20	6,131	2,297	14,08	-0,53	1,75	-0,93	-11,40	5,68	-2,01
21	5,35	2,297	12,29	-0,57	1,75	-1,00	-10,70	4,90	-2,18
22	4,568	2,297	10,49	-0,60	1,75	-1,05	-9,61	4,12	-2,33
23	3,786	2,297	8,70	-0,65	1,75	-1,14	-8,63	3,34	-2,58
24	3,005	2,297	6,90	-0,70	1,75	-1,23	-7,38	2,56	-2,88
25	2,223	2,297	5,11	-0,73	1,75	-1,28	-5,69	1,78	-3,20
26	1,442	2,262	3,26	-0,78	1,75	-1,37	-3,88	0,99	-3,92

Tabela 1.5 - Cálculo Vento (Sector 3 e 16)

Sector 4 e 15									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,39	1,23	-0,48	-19,82	16,52	-1,20
2	16,156	1,889	30,52	-0,40	1,23	-0,49	-13,11	16,14	-0,81
3	15,778	2,014	31,78	-0,41	1,23	-0,50	-13,99	15,33	-0,91
4	15,35	2,238	34,35	-0,43	1,23	-0,53	-15,86	14,90	-1,06
5	14,882	2,338	34,79	-0,45	1,48	-0,67	-20,23	14,43	-1,40
6	14,414	2,338	33,70	-0,46	1,48	-0,68	-20,03	13,96	-1,43
7	13,946	2,338	32,61	-0,47	1,48	-0,70	-19,80	13,50	-1,47
8	13,478	2,338	31,51	-0,48	1,48	-0,71	-19,54	13,03	-1,50
9	13,01	2,338	30,42	-0,49	1,64	-0,80	-21,27	12,56	-1,69
10	12,542	2,338	29,32	-0,51	1,64	-0,83	-21,34	12,09	-1,77
11	12,074	2,246	27,12	-0,52	1,64	-0,85	-20,13	11,62	-1,73
12	11,643	1,277	14,87	-0,54	1,64	-0,88	-11,46	11,20	-1,02
13	11,534	1,249	14,41	-0,55	1,64	-0,90	-11,31	11,09	-1,02
14	10,821	2,197	23,77	-0,56	1,64	-0,92	-19,00	10,37	-1,83
15	10,039	2,297	23,06	-0,57	1,64	-0,93	-18,76	9,59	-1,96
16	9,258	2,297	21,27	-0,59	1,75	-1,03	-19,16	8,81	-2,17
17	8,476	2,297	19,47	-0,61	1,75	-1,07	-18,13	8,03	-2,26
18	7,695	2,297	17,68	-0,63	1,75	-1,10	-17,00	7,25	-2,35
19	6,913	2,297	15,88	-0,65	1,75	-1,14	-15,76	6,47	-2,44
20	6,131	2,297	14,08	-0,68	1,75	-1,19	-14,62	5,68	-2,57
21	5,35	2,297	12,29	-0,71	1,75	-1,24	-13,32	4,90	-2,72
22	4,568	2,297	10,49	-0,73	1,75	-1,28	-11,70	4,12	-2,84
23	3,786	2,297	8,70	-0,75	1,75	-1,31	-9,96	3,34	-2,98
24	3,005	2,297	6,90	-0,77	1,75	-1,35	-8,12	2,56	-3,17
25	2,223	2,297	5,11	-0,80	1,75	-1,40	-6,24	1,78	-3,50
26	1,442	2,262	3,26	-0,81	1,75	-1,42	-4,03	0,99	-4,08

Tabela 1.6 - Cálculo Vento (Sector 4 e 15)

Sector 5 e 14									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,85	1,23	-1,05	-43,19	16,52	-2,61
2	16,156	1,889	30,52	-0,85	1,23	-1,05	-27,85	16,14	-1,73
3	15,778	2,014	31,78	-0,85	1,23	-1,05	-29,00	15,33	-1,89
4	15,35	2,238	34,35	-0,85	1,23	-1,05	-31,35	14,90	-2,10
5	14,882	2,338	34,79	-0,85	1,48	-1,26	-38,21	14,43	-2,65
6	14,414	2,338	33,70	-0,85	1,48	-1,26	-37,00	13,96	-2,65
7	13,946	2,338	32,61	-0,85	1,48	-1,26	-35,80	13,50	-2,65
8	13,478	2,338	31,51	-0,85	1,48	-1,26	-34,60	13,03	-2,66
9	13,01	2,338	30,42	-0,85	1,64	-1,39	-36,90	12,56	-2,94
10	12,542	2,338	29,32	-0,85	1,64	-1,39	-35,57	12,09	-2,94
11	12,074	2,246	27,12	-0,85	1,64	-1,39	-32,90	11,62	-2,83
12	11,643	1,277	14,87	-0,85	1,64	-1,39	-18,04	11,20	-1,61
13	11,534	1,249	14,41	-0,85	1,64	-1,39	-17,48	11,09	-1,58
14	10,821	2,197	23,77	-0,85	1,64	-1,39	-28,84	10,37	-2,78
15	10,039	2,297	23,06	-0,85	1,64	-1,39	-27,98	9,59	-2,92
16	9,258	2,297	21,27	-0,85	1,75	-1,49	-27,60	8,81	-3,13
17	8,476	2,297	19,47	-0,85	1,75	-1,49	-25,27	8,03	-3,15
18	7,695	2,297	17,68	-0,85	1,75	-1,49	-22,94	7,25	-3,16
19	6,913	2,297	15,88	-0,85	1,75	-1,49	-20,61	6,47	-3,19
20	6,131	2,297	14,08	-0,85	1,75	-1,49	-18,28	5,68	-3,22
21	5,35	2,297	12,29	-0,85	1,75	-1,49	-15,95	4,90	-3,26
22	4,568	2,297	10,49	-0,85	1,75	-1,49	-13,62	4,12	-3,31
23	3,786	2,297	8,70	-0,85	1,75	-1,49	-11,29	3,34	-3,38
24	3,005	2,297	6,90	-0,85	1,75	-1,49	-8,96	2,56	-3,50
25	2,223	2,297	5,11	-0,85	1,75	-1,49	-6,63	1,78	-3,72
26	1,442	2,262	3,26	-0,85	1,75	-1,49	-4,23	0,99	-4,28

Tabela 1.7 - Cálculo Vento (Sector 5 e 14)

Sector 6 e 13									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,57	1,23	-0,70	-28,96	16,52	-1,75
2	16,156	1,889	30,52	-0,58	1,23	-0,71	-19,01	16,14	-1,18
3	15,778	2,014	31,78	-0,59	1,23	-0,73	-20,13	15,33	-1,31
4	15,35	2,238	34,35	-0,60	1,23	-0,74	-22,13	14,90	-1,49
5	14,882	2,338	34,79	-0,60	1,48	-0,89	-26,97	14,43	-1,87
6	14,414	2,338	33,70	-0,61	1,48	-0,90	-26,56	13,96	-1,90
7	13,946	2,338	32,61	-0,61	1,48	-0,90	-25,69	13,50	-1,90
8	13,478	2,338	31,51	-0,62	1,48	-0,92	-25,24	13,03	-1,94
9	13,01	2,338	30,42	-0,63	1,64	-1,03	-27,35	12,56	-2,18
10	12,542	2,338	29,32	-0,64	1,64	-1,05	-26,79	12,09	-2,22
11	12,074	2,246	27,12	-0,64	1,64	-1,05	-24,77	11,62	-2,13
12	11,643	1,277	14,87	-0,65	1,64	-1,06	-13,79	11,20	-1,23
13	11,534	1,249	14,41	-0,65	1,64	-1,06	-13,36	11,09	-1,21
14	10,821	2,197	23,77	-0,66	1,64	-1,08	-22,40	10,37	-2,16
15	10,039	2,297	23,06	-0,68	1,64	-1,11	-22,38	9,59	-2,33
16	9,258	2,297	21,27	-0,70	1,75	-1,23	-22,73	8,81	-2,58
17	8,476	2,297	19,47	-0,71	1,75	-1,24	-21,11	8,03	-2,63
18	7,695	2,297	17,68	-0,72	1,75	-1,26	-19,43	7,25	-2,68
19	6,913	2,297	15,88	-0,74	1,75	-1,30	-17,94	6,47	-2,77
20	6,131	2,297	14,08	-0,75	1,75	-1,31	-16,13	5,68	-2,84
21	5,35	2,297	12,29	-0,76	1,75	-1,33	-14,26	4,90	-2,91
22	4,568	2,297	10,49	-0,77	1,75	-1,35	-12,34	4,12	-2,99
23	3,786	2,297	8,70	-0,78	1,75	-1,37	-10,36	3,34	-3,10
24	3,005	2,297	6,90	-0,80	1,75	-1,40	-8,43	2,56	-3,29
25	2,223	2,297	5,11	-0,82	1,75	-1,44	-6,39	1,78	-3,59
26	1,442	2,262	3,26	-0,83	1,75	-1,45	-4,13	0,99	-4,18

Tabela 1.8 - Cálculo Vento (Sector 6 e 13)

Sector 7 e 12									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,32	1,23	-0,39	-16,26	16,52	-0,98
2	16,156	1,889	30,52	-0,33	1,23	-0,41	-10,81	16,14	-0,67
3	15,778	2,014	31,78	-0,35	1,23	-0,43	-11,94	15,33	-0,78
4	15,35	2,238	34,35	-0,36	1,23	-0,44	-13,28	14,90	-0,89
5	14,882	2,338	34,79	-0,37	1,48	-0,55	-16,63	14,43	-1,15
6	14,414	2,338	33,70	-0,39	1,48	-0,58	-16,98	13,96	-1,22
7	13,946	2,338	32,61	-0,42	1,48	-0,62	-17,69	13,50	-1,31
8	13,478	2,338	31,51	-0,43	1,48	-0,64	-17,50	13,03	-1,34
9	13,01	2,338	30,42	-0,44	1,64	-0,72	-19,10	12,56	-1,52
10	12,542	2,338	29,32	-0,45	1,64	-0,74	-18,83	12,09	-1,56
11	12,074	2,246	27,12	-0,47	1,64	-0,77	-18,19	11,62	-1,57
12	11,643	1,277	14,87	-0,48	1,64	-0,79	-10,19	11,20	-0,91
13	11,534	1,249	14,41	-0,48	1,64	-0,79	-9,87	11,09	-0,89
14	10,821	2,197	23,77	-0,50	1,64	-0,82	-16,97	10,37	-1,64
15	10,039	2,297	23,06	-0,53	1,64	-0,87	-17,44	9,59	-1,82
16	9,258	2,297	21,27	-0,55	1,75	-0,96	-17,86	8,81	-2,03
17	8,476	2,297	19,47	-0,59	1,75	-1,03	-17,54	8,03	-2,18
18	7,695	2,297	17,68	-0,60	1,75	-1,05	-16,19	7,25	-2,23
19	6,913	2,297	15,88	-0,63	1,75	-1,10	-15,28	6,47	-2,36
20	6,131	2,297	14,08	-0,65	1,75	-1,14	-13,98	5,68	-2,46
21	5,35	2,297	12,29	-0,68	1,75	-1,19	-12,76	4,90	-2,60
22	4,568	2,297	10,49	-0,71	1,75	-1,24	-11,38	4,12	-2,76
23	3,786	2,297	8,70	-0,73	1,75	-1,28	-9,69	3,34	-2,90
24	3,005	2,297	6,90	-0,75	1,75	-1,31	-7,90	2,56	-3,09
25	2,223	2,297	5,11	-0,78	1,75	-1,37	-6,08	1,78	-3,42
26	1,442	2,262	3,26	-0,80	1,75	-1,40	-3,98	0,99	-4,02

Tabela 1.9 - Cálculo Vento (Sector 6 e 13)

Sector 8 e 11									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,15	1,23	-0,18	-7,62	16,52	-0,46
2	16,156	1,889	30,52	-0,16	1,23	-0,20	-5,24	16,14	-0,32
3	15,778	2,014	31,78	-0,17	1,23	-0,21	-5,80	15,33	-0,38
4	15,35	2,238	34,35	-0,18	1,23	-0,22	-6,64	14,90	-0,45
5	14,882	2,338	34,79	-0,20	1,48	-0,30	-8,99	14,43	-0,62
6	14,414	2,338	33,70	-0,24	1,48	-0,36	-10,45	13,96	-0,75
7	13,946	2,338	32,61	-0,25	1,48	-0,37	-10,53	13,50	-0,78
8	13,478	2,338	31,51	-0,27	1,48	-0,40	-10,99	13,03	-0,84
9	13,01	2,338	30,42	-0,29	1,64	-0,47	-12,59	12,56	-1,00
10	12,542	2,338	29,32	-0,31	1,64	-0,51	-12,97	12,09	-1,07
11	12,074	2,246	27,12	-0,33	1,64	-0,54	-12,77	11,62	-1,10
12	11,643	1,277	14,87	-0,35	1,64	-0,57	-7,43	11,20	-0,66
13	11,534	1,249	14,41	-0,36	1,64	-0,59	-7,40	11,09	-0,67
14	10,821	2,197	23,77	-0,39	1,64	-0,64	-13,23	10,37	-1,28
15	10,039	2,297	23,06	-0,43	1,64	-0,70	-14,15	9,59	-1,48
16	9,258	2,297	21,27	-0,45	1,75	-0,79	-14,61	8,81	-1,66
17	8,476	2,297	19,47	-0,48	1,75	-0,84	-14,27	8,03	-1,78
18	7,695	2,297	17,68	-0,52	1,75	-0,91	-14,03	7,25	-1,94
19	6,913	2,297	15,88	-0,55	1,75	-0,96	-13,34	6,47	-2,06
20	6,131	2,297	14,08	-0,58	1,75	-1,02	-12,47	5,68	-2,20
21	5,35	2,297	12,29	-0,62	1,75	-1,09	-11,63	4,90	-2,37
22	4,568	2,297	10,49	-0,65	1,75	-1,14	-10,41	4,12	-2,53
23	3,786	2,297	8,70	-0,69	1,75	-1,21	-9,16	3,34	-2,74
24	3,005	2,297	6,90	-0,72	1,75	-1,26	-7,59	2,56	-2,96
25	2,223	2,297	5,11	-0,76	1,75	-1,33	-5,93	1,78	-3,33
26	1,442	2,262	3,26	-0,78	1,75	-1,37	-3,88	0,99	-3,92

Tabela 1.10 - Cálculo Vento (Sector 8 e 11)

Sector 9 e10									
Madre	Área Influência			cpe	qp (ze)	we	Carga Total - Fw	Compr. Barra	Carga p/ ml
	l	h	(m ²)		(kN/m ²)	(kN/m ²)	(kN)	(m)	(kN/m)
1	16,535	2,862	47,32	-0,05	1,23	-0,06	-2,54	16,52	-0,15
2	16,156	1,889	30,52	-0,08	1,23	-0,10	-2,62	16,14	-0,16
3	15,778	2,014	31,78	-0,09	1,23	-0,11	-3,07	15,33	-0,20
4	15,35	2,238	34,35	-0,10	1,23	-0,12	-3,69	14,90	-0,25
5	14,882	2,338	34,79	-0,12	1,48	-0,18	-5,39	14,43	-0,37
6	14,414	2,338	33,70	-0,15	1,48	-0,22	-6,53	13,96	-0,47
7	13,946	2,338	32,61	-0,17	1,48	-0,25	-7,16	13,50	-0,53
8	13,478	2,338	31,51	-0,20	1,48	-0,30	-8,14	13,03	-0,62
9	13,01	2,338	30,42	-0,22	1,64	-0,36	-9,55	12,56	-0,76
10	12,542	2,338	29,32	-0,24	1,64	-0,39	-10,04	12,09	-0,83
11	12,074	2,246	27,12	-0,26	1,64	-0,43	-10,06	11,62	-0,87
12	11,643	1,277	14,87	-0,28	1,64	-0,46	-5,94	11,20	-0,53
13	11,534	1,249	14,41	-0,29	1,64	-0,47	-5,96	11,09	-0,54
14	10,821	2,197	23,77	-0,31	1,64	-0,51	-10,52	10,37	-1,01
15	10,039	2,297	23,06	-0,37	1,64	-0,61	-12,18	9,59	-1,27
16	9,258	2,297	21,27	-0,40	1,75	-0,70	-12,99	8,81	-1,47
17	8,476	2,297	19,47	-0,44	1,75	-0,77	-13,08	8,03	-1,63
18	7,695	2,297	17,68	-0,47	1,75	-0,82	-12,68	7,25	-1,75
19	6,913	2,297	15,88	-0,51	1,75	-0,89	-12,37	6,47	-1,91
20	6,131	2,297	14,08	-0,56	1,75	-0,98	-12,04	5,68	-2,12
21	5,35	2,297	12,29	-0,60	1,75	-1,05	-11,26	4,90	-2,30
22	4,568	2,297	10,49	-0,63	1,75	-1,10	-10,09	4,12	-2,45
23	3,786	2,297	8,70	-0,66	1,75	-1,16	-8,76	3,34	-2,62
24	3,005	2,297	6,90	-0,70	1,75	-1,23	-7,38	2,56	-2,88
25	2,223	2,297	5,11	-0,75	1,75	-1,31	-5,85	1,78	-3,29
26	1,442	2,262	3,26	-0,77	1,75	-1,35	-3,84	0,99	-3,87

Tabela 1.11 - Cálculo Vento (Sector 9 e 10)

1.4 ESPECTRO – ACÇÃO SÍSMICA

Tipo 1		Tipo 2	
T(s)	S _d (T)	T(s)	S _d (T)
0	1	0	1,13
0,1	2,5	0,1	2,83
0,2	2,5	0,2	2,83
0,3	2,5	0,3	2,36
0,4	2,5	0,4	1,77
0,5	2,5	0,5	1,42
0,6	2,5	0,6	1,18
0,7	2,14	0,7	1,01
0,8	1,88	0,8	0,89
0,9	1,67	0,9	0,79
1	1,5	1	0,71
1,1	1,36	1,1	0,64
1,2	1,25	1,2	0,59
1,3	1,15	1,3	0,54
1,4	1,07	1,4	0,51
1,5	1	1,5	0,47
1,6	0,94	1,6	0,44
1,7	0,88	1,7	0,42
1,8	0,83	1,8	0,39
1,9	0,79	1,9	0,37
2	0,75	2	0,35
2,1	0,68	2,1	0,34
2,2	0,62	2,2	0,34
2,3	0,57	2,3	0,34
2,4	0,52	2,4	0,34
2,5	0,48	2,5	0,34
2,6	0,44	2,6	0,34
2,7	0,41	2,7	0,34
2,8	0,38	2,8	0,34
2,9	0,36	2,9	0,34
3	0,33	3	0,34
3,1	0,31	3,1	0,34
3,2	0,3	3,2	0,34
3,3	0,3	3,3	0,34
3,4	0,3	3,4	0,34

Tabela 1.12 – Espectro Acção Sísmica Tipo1 (Esq.) e Tipo2 (Dta.)

2 ANÁLISE GLOBAL DA ESTRUTURA

2.1 MODOS DE VIBRAÇÃO

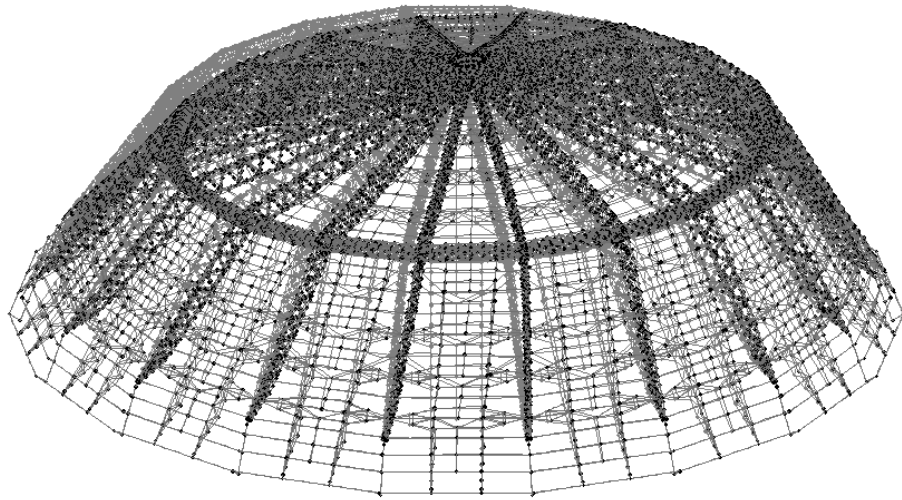


Figura 2.1 - 1º Modo $T= 0,94$ s ; $f= 1,06$ Hz

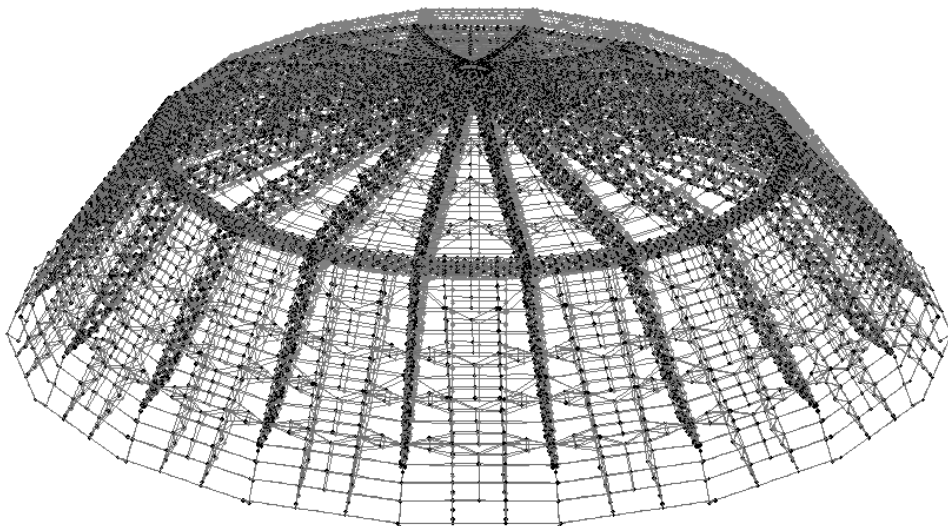


Figura 2.2 – 2º Modo $T= 0,94$ s ; $f= 1,06$ Hz

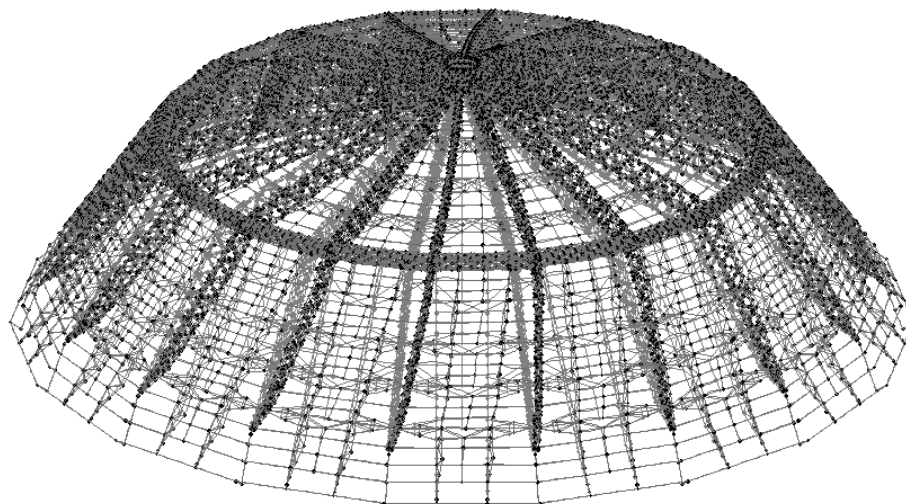


Figura 2.3 – 3º Modo $T = 0,87$ s ; $f = 1,16$ Hz

O comportamento dinâmico de uma estrutura é fortemente influenciado pela sua frequência fundamental ou período correspondente. Assim após a análise modal no SAP2000 obteve-se uma frequência de 1,06 Hz.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
MODAL	Mode	1	0,94	1,06	6,66	44,35
MODAL	Mode	2	0,94	1,06	6,66	44,36
MODAL	Mode	3	0,87	1,16	7,26	52,74
MODAL	Mode	4	0,38	2,61	16,42	269,54
MODAL	Mode	5	0,34	2,96	18,58	345,32
MODAL	Mode	6	0,34	2,97	18,67	348,63
MODAL	Mode	7	0,33	3,06	19,24	370,22
MODAL	Mode	8	0,33	3,07	19,32	373,20
MODAL	Mode	9	0,32	3,15	19,81	392,63
MODAL	Mode	10	0,32	3,17	19,93	397,20
MODAL	Mode	11	0,30	3,29	20,70	428,56
MODAL	Mode	12	0,30	3,30	20,73	429,88
MODAL	Mode	13	0,30	3,34	21,00	441,12
MODAL	Mode	14	0,30	3,36	21,09	444,91
MODAL	Mode	15	0,30	3,36	21,10	445,15
MODAL	Mode	16	0,30	3,37	21,14	447,07
MODAL	Mode	17	0,30	3,38	21,21	449,83
MODAL	Mode	18	0,29	3,39	21,30	453,78
MODAL	Mode	19	0,29	3,39	21,33	455,01
MODAL	Mode	20	0,29	3,40	21,34	455,54
MODAL	Mode	21	0,29	3,41	21,42	458,98
MODAL	Mode	22	0,29	3,42	21,49	461,87

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
MODAL	Mode	23	0,29	3,43	21,53	463,36
MODAL	Mode	24	0,28	3,55	22,31	497,82
MODAL	Mode	25	0,28	3,56	22,36	499,81
MODAL	Mode	26	0,28	3,63	22,78	518,84
MODAL	Mode	27	0,28	3,63	22,78	519,05
MODAL	Mode	28	0,27	3,69	23,20	538,14
MODAL	Mode	29	0,27	3,69	23,21	538,72
MODAL	Mode	30	0,27	3,70	23,23	539,71
MODAL	Mode	31	0,27	3,72	23,40	547,58
MODAL	Mode	32	0,27	3,75	23,54	553,93
MODAL	Mode	33	0,27	3,75	23,54	554,28
MODAL	Mode	34	0,26	3,79	23,80	566,22
MODAL	Mode	35	0,26	3,79	23,80	566,36
MODAL	Mode	36	0,26	3,82	23,97	574,75
MODAL	Mode	37	0,26	3,82	23,98	574,99
MODAL	Mode	38	0,26	3,83	24,04	578,04
MODAL	Mode	39	0,25	3,95	24,81	615,64
MODAL	Mode	40	0,25	3,95	24,83	616,57
MODAL	Mode	41	0,23	4,33	27,24	741,83
MODAL	Mode	42	0,22	4,60	28,88	834,12
MODAL	Mode	43	0,22	4,60	28,92	836,24
MODAL	Mode	44	0,22	4,60	28,92	836,25
MODAL	Mode	45	0,22	4,62	29,02	842,27
MODAL	Mode	46	0,22	4,62	29,02	842,27
MODAL	Mode	47	0,22	4,62	29,04	843,38
MODAL	Mode	48	0,22	4,64	29,18	851,23
MODAL	Mode	49	0,22	4,64	29,18	851,23
MODAL	Mode	50	0,21	4,66	29,28	857,11
MODAL	Mode	51	0,21	4,67	29,35	861,70
MODAL	Mode	52	0,21	4,67	29,35	861,70
MODAL	Mode	53	0,21	4,70	29,53	871,98
MODAL	Mode	54	0,21	4,70	29,53	871,98
MODAL	Mode	55	0,21	4,72	29,67	880,36
MODAL	Mode	56	0,21	4,72	29,67	880,41
MODAL	Mode	57	0,21	4,73	29,73	884,02
MODAL	Mode	58	0,21	4,73	29,73	884,04
MODAL	Mode	59	0,21	4,75	29,85	890,92
MODAL	Mode	60	0,21	4,75	29,88	892,60
MODAL	Mode	61	0,21	4,77	29,94	896,52
MODAL	Mode	62	0,20	4,89	30,73	944,26
MODAL	Mode	63	0,20	4,89	30,73	944,43
MODAL	Mode	64	0,20	4,93	30,95	958,16
MODAL	Mode	65	0,20	4,93	30,96	958,59
MODAL	Mode	66	0,20	4,94	31,06	964,45

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
MODAL	Mode	67	0,20	4,94	31,07	965,07
MODAL	Mode	68	0,20	4,96	31,15	970,53
MODAL	Mode	69	0,20	4,96	31,19	973,07
MODAL	Mode	70	0,20	4,97	31,23	975,38
MODAL	Mode	71	0,20	5,01	31,49	991,70
MODAL	Mode	72	0,20	5,03	31,60	998,74
MODAL	Mode	73	0,19	5,17	32,50	1056,01
MODAL	Mode	74	0,19	5,26	33,02	1090,44
MODAL	Mode	75	0,19	5,26	33,04	1091,69
MODAL	Mode	76	0,19	5,27	33,09	1094,75
MODAL	Mode	77	0,19	5,36	33,67	1133,59
MODAL	Mode	78	0,18	5,46	34,34	1179,04
MODAL	Mode	79	0,18	5,48	34,43	1185,08
MODAL	Mode	80	0,18	5,53	34,76	1208,35
MODAL	Mode	81	0,18	5,60	35,17	1236,99
MODAL	Mode	82	0,17	5,73	36,02	1297,37
MODAL	Mode	83	0,17	5,82	36,59	1338,55
MODAL	Mode	84	0,17	5,82	36,59	1338,87
MODAL	Mode	85	0,17	5,88	36,93	1363,97
MODAL	Mode	86	0,17	5,88	36,95	1365,11
MODAL	Mode	87	0,17	5,95	37,36	1395,51
MODAL	Mode	88	0,17	5,97	37,48	1404,78
MODAL	Mode	89	0,17	6,02	37,81	1429,59
MODAL	Mode	90	0,17	6,02	37,82	1430,00
MODAL	Mode	91	0,17	6,05	38,01	1444,94
MODAL	Mode	92	0,16	6,07	38,14	1454,32
MODAL	Mode	93	0,16	6,09	38,25	1463,03
MODAL	Mode	94	0,16	6,10	38,31	1467,96
MODAL	Mode	95	0,16	6,11	38,41	1475,46
MODAL	Mode	96	0,16	6,12	38,42	1476,37
MODAL	Mode	97	0,16	6,12	38,43	1477,00
MODAL	Mode	98	0,16	6,12	38,44	1477,94
MODAL	Mode	99	0,16	6,14	38,59	1488,82
MODAL	Mode	100	0,16	6,20	38,95	1517,49

Tabela 2.1 – Períodos e Frequências Modais (Primeiros 100 Modos).

2.2 DESLOCAMENTOS LATERAIS

O dimensionamento dos elementos metálicos comprimidos pressupõe a determinação prévia dos respectivos comprimentos de encurvadura, associados sempre ao grau de mobilidade da estrutura, pelo que se procedeu ao cálculo desta com o programa SAP2000.

De acordo com a norma NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço, a análise da estrutura pode ser efectuada tendo em conta os efeitos de segunda ordem (estrutura com deslocamentos laterais), uma vez não cumprida a seguinte condição:

$$\alpha_{\text{crit}} = \frac{F_{\text{cr}}}{F_{\text{Ed}}} > 10$$

Tendo em conta que os valores obtidos de α_{crit} são inferiores a 10, classificou-se a estrutura como “com deslocamentos laterais”. Considerou-se deste modo que o incremento das forças internas e momentos provocados pela posição final da deformada da estrutura não podem ser desprezados.

3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

3.1 VERIFICAÇÃO DAS BARRAS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 (SAP2000)

Rácios dos elementos metálicos:

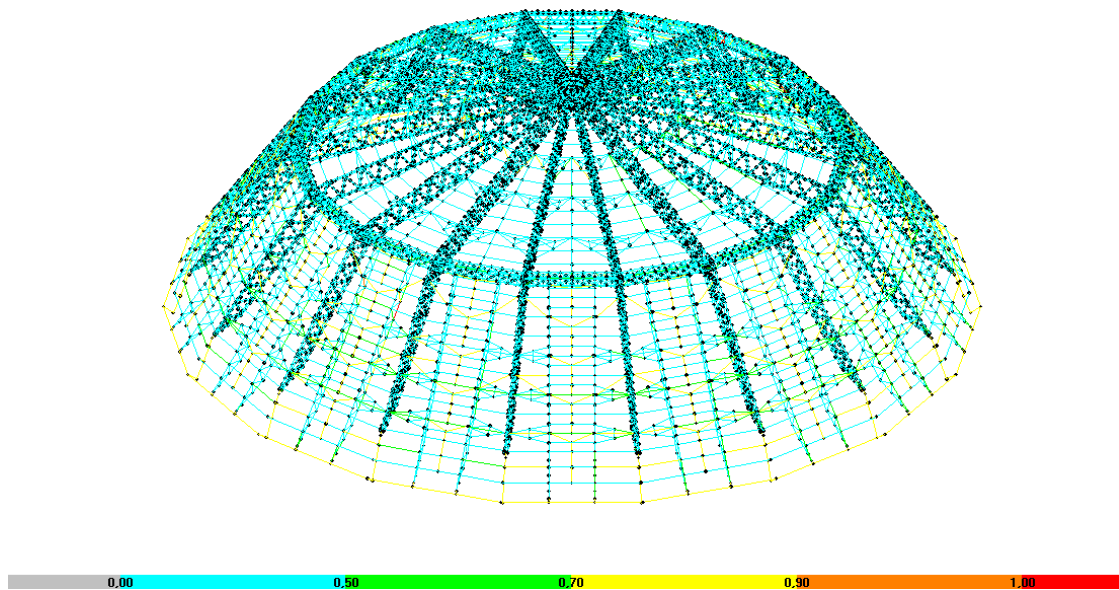


Figura 3.1 - Rácios dos elementos metálicos – Visão Geral.

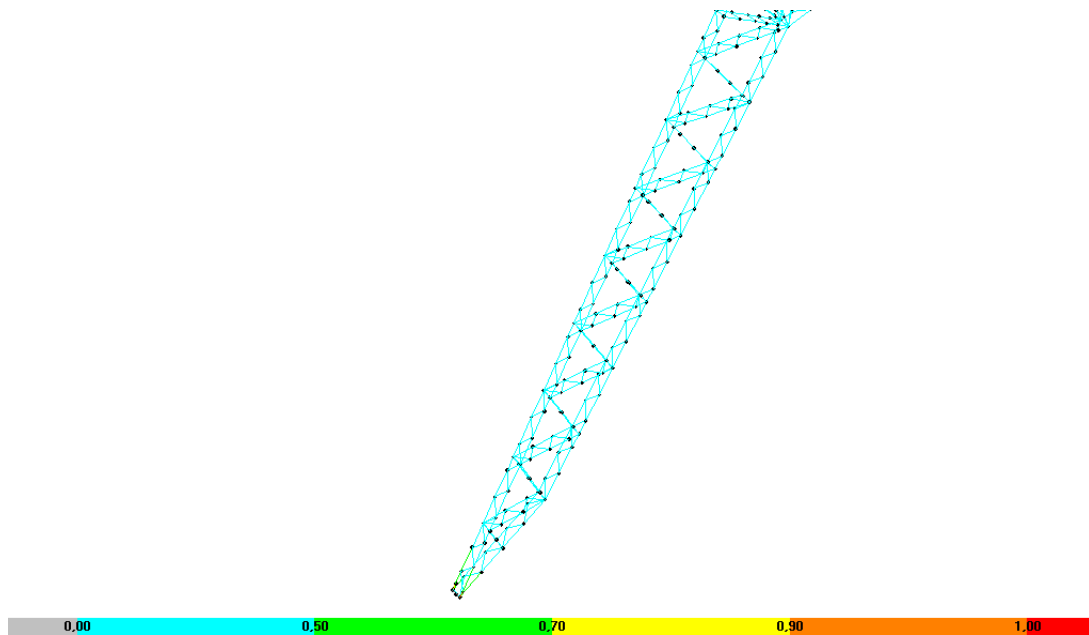


Figura 3.2 – Rácios dos elementos metálicos – Arco Meridiano.

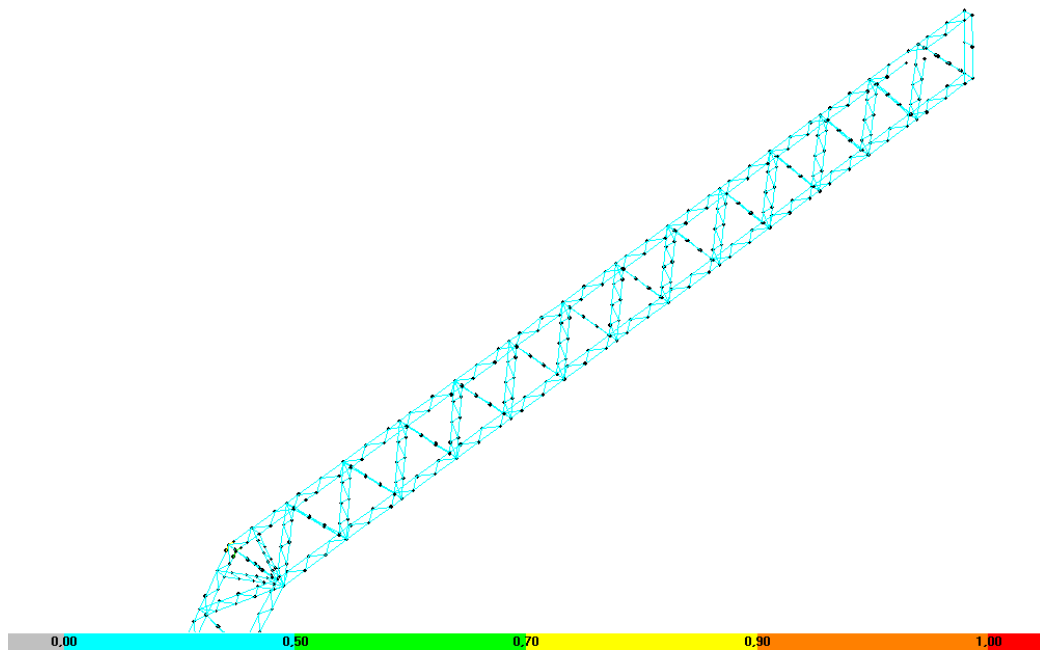


Figura 3.3 – Rácios dos elementos metálicos – Arco Meridiano.

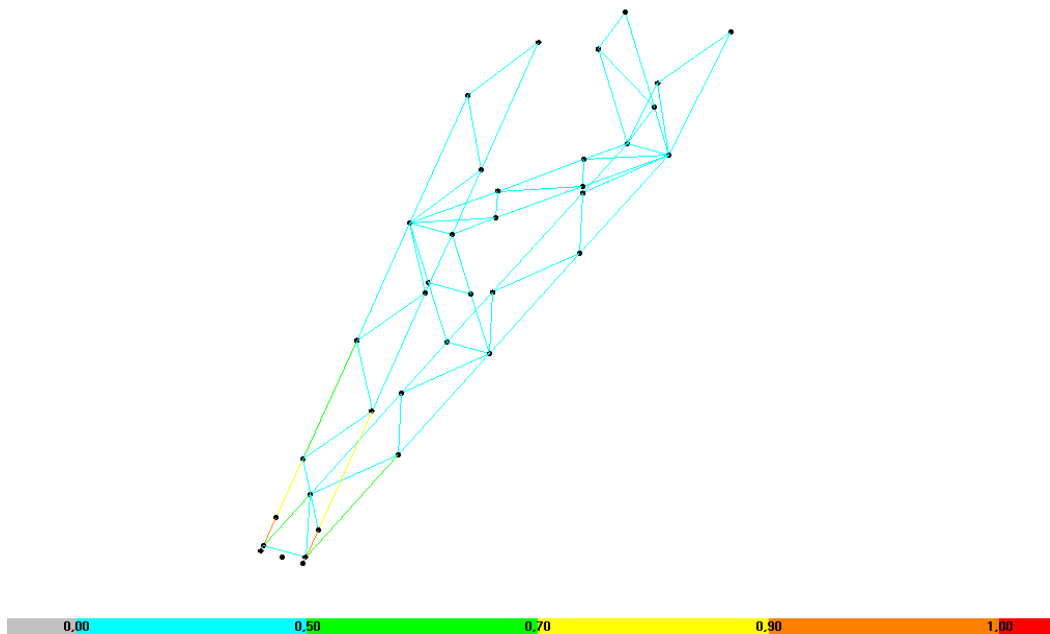


Figura 3.4 – Rácios dos elementos metálicos – Pormenor Arco Meridiano.

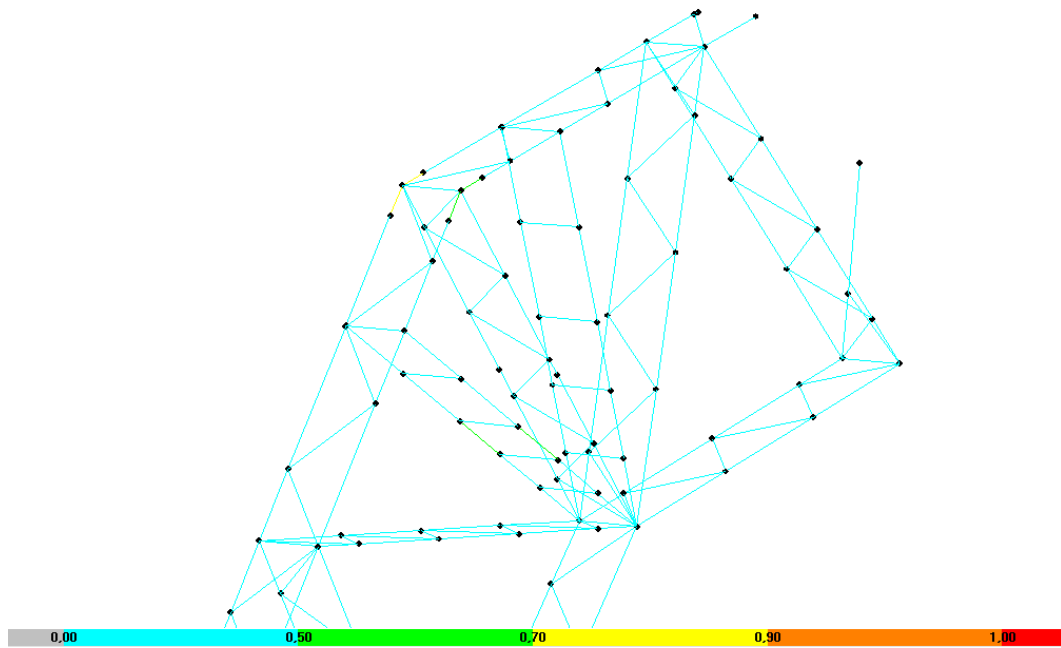


Figura 3.5 – Rácios dos elementos metálicos – Pormenor Arco Meridiano.

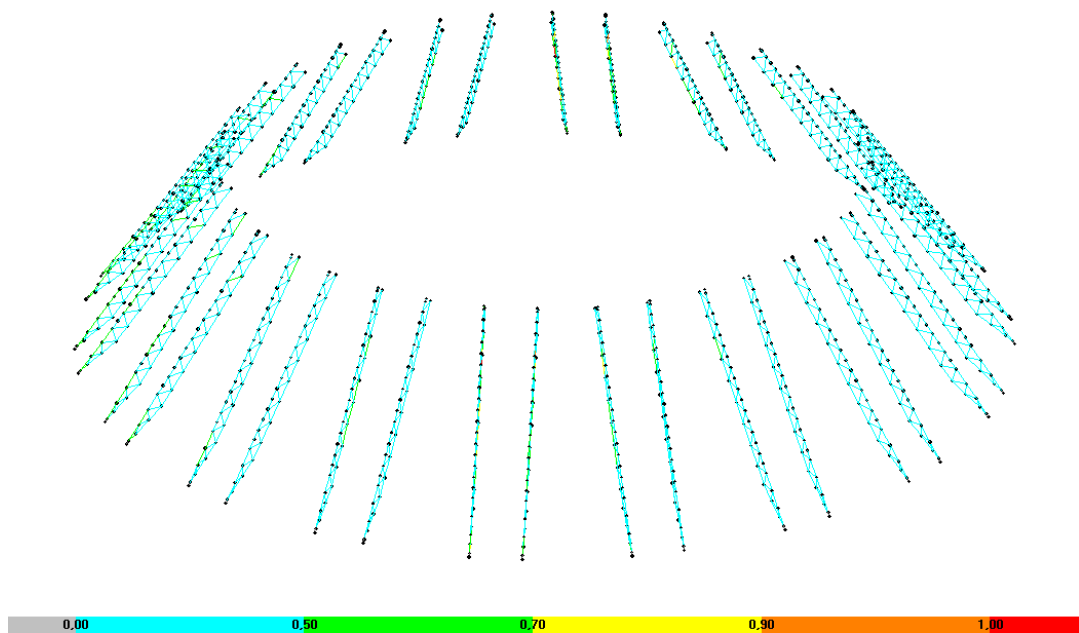


Figura 3.6 – Rácios dos elementos metálicos – Pórticos Secundários.

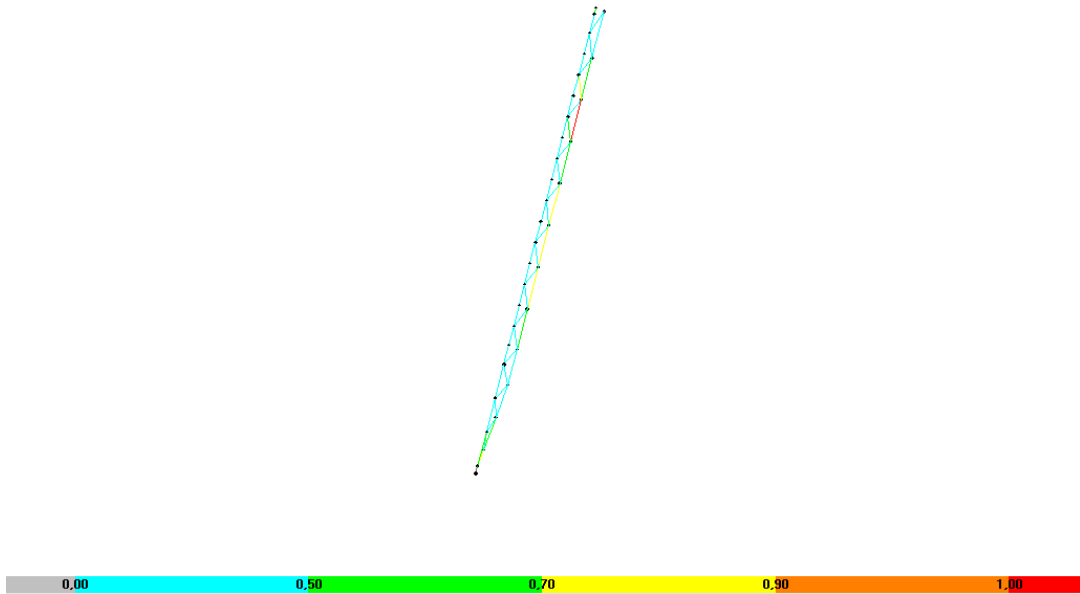


Figura 3.7 – Rácios dos elementos metálicos – Pórtico Secundário mais solicitado.

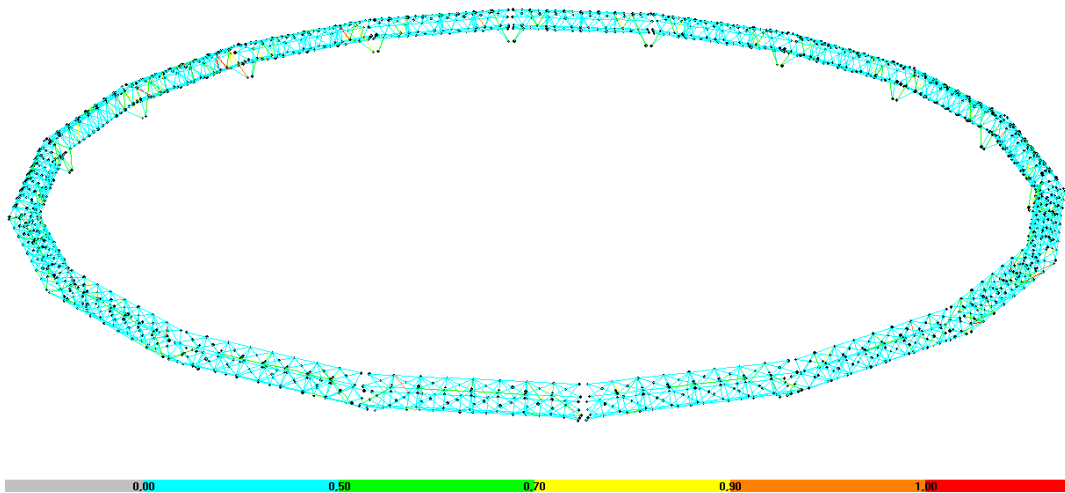


Figura 3.8 – Rácios dos elementos metálicos – Anel Intermédio.

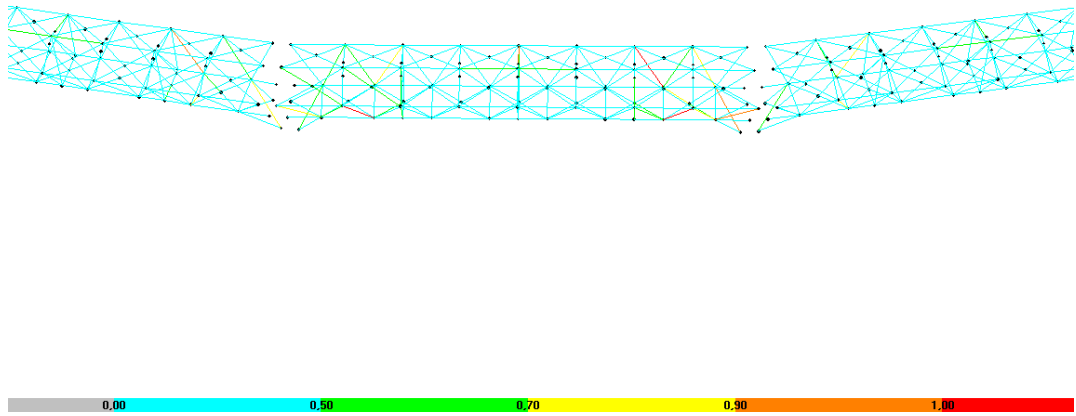


Figura 3.9 – Rácios dos elementos metálicos – Anel Intermediário zona mais solicitada.

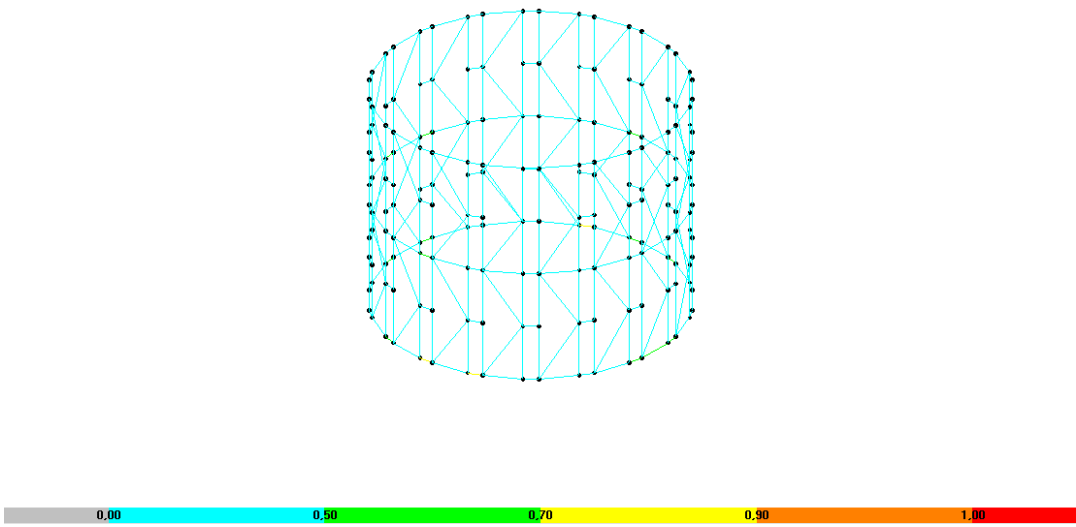


Figura 3.10 – Rácios dos elementos metálicos – Anel de Fecho.

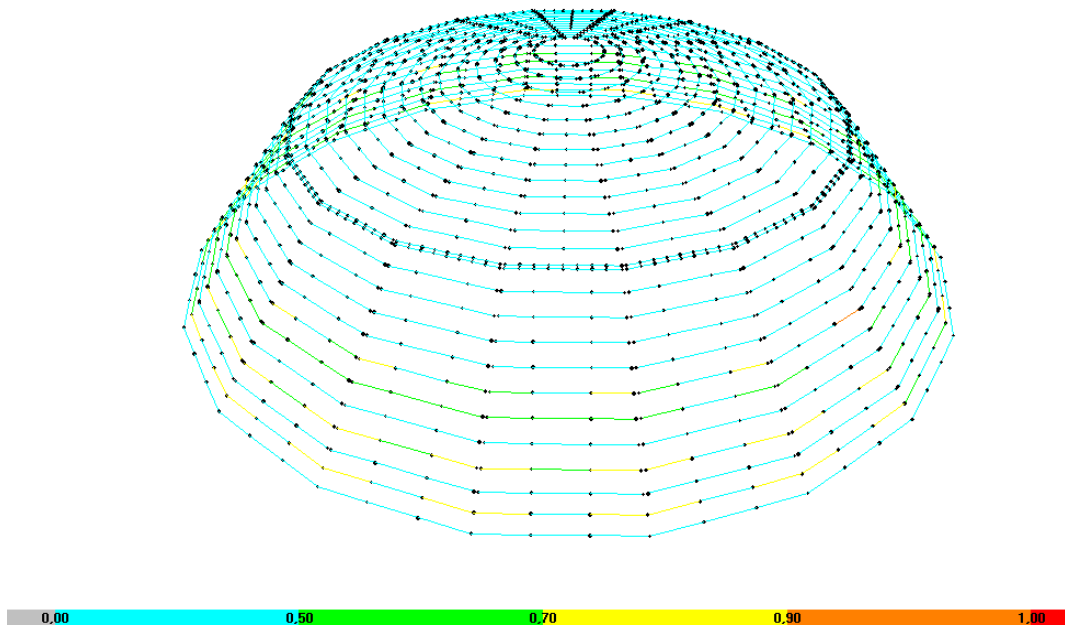


Figura 3.11 – Rácios dos elementos metálicos – Madres.

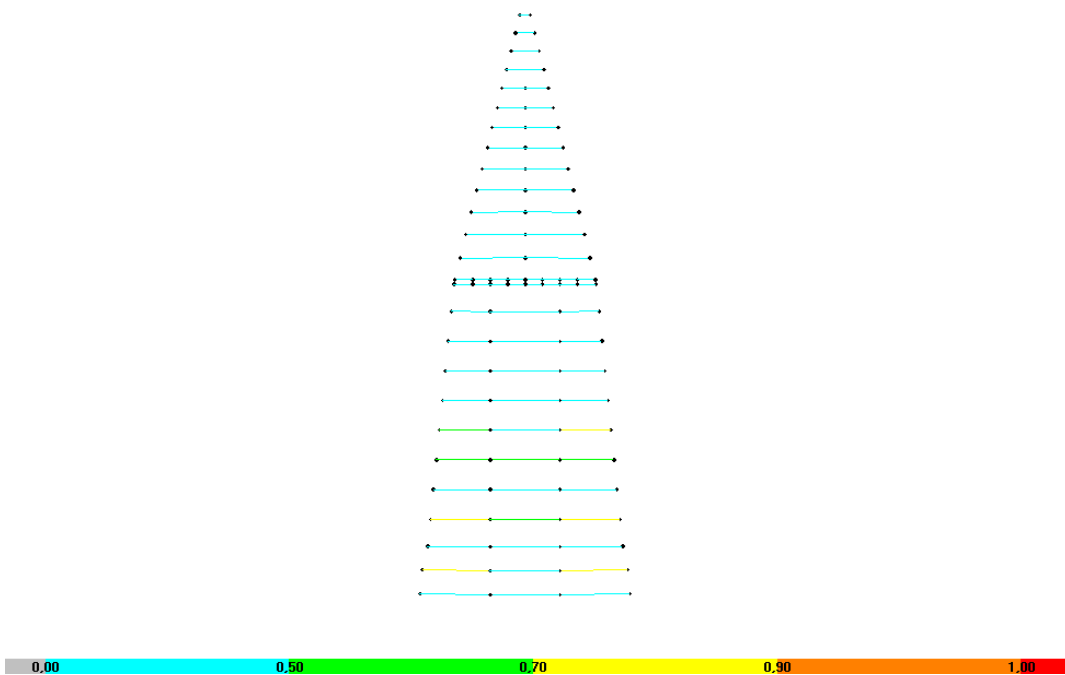


Figura 3.12 – Rácios dos elementos metálicos – Madres sector mais solicitado.

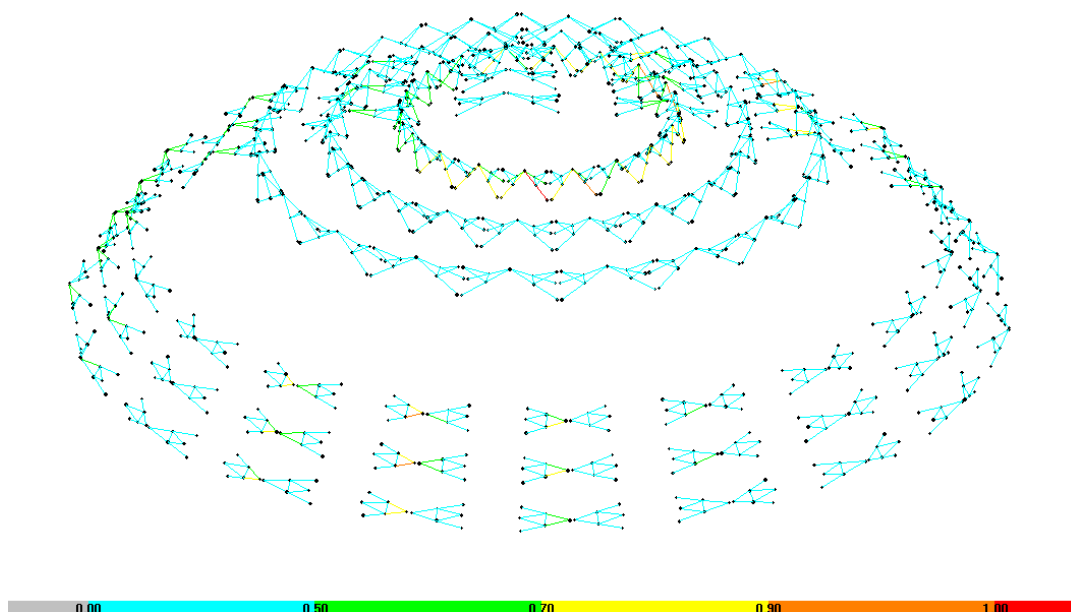


Figura 3.13 – Rácios dos elementos metálicos – Contraventamentos.

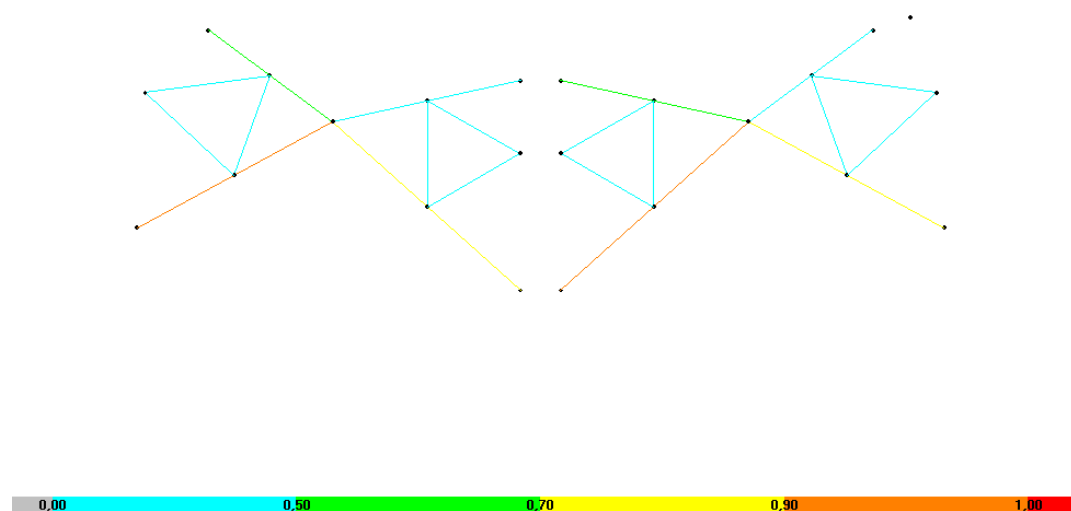


Figura 3.14 – Rácios dos elementos metálicos – Contraventamentos mais solicitados.

Tabela com rácio dos elementos metálicos (só rácios superiores a 60%):

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
2614	UPN80	Overstressed	1,35	PMM	ELUWT+	0,69
4709	UPN80	Overstressed	1,35	PMM	ELUWT+	0,69
4913	IPE120	Overstressed	1,23	PMM	ELUWT+	0,73
2807	IPE120	Overstressed	1,22	PMM	ELUWT+	0,73
4724	UPN80	Overstressed	1,15	PMM	ELUWT+	0,69
2627	UPN80	Overstressed	1,15	PMM	ELUWT+	0,69
4720	UPN80	Overstressed	1,15	PMM	ELUWT+	0,69
2603	UPN80	Overstressed	1,15	PMM	ELUWT+	0,69
4490	UPN80	Overstressed	1,03	PMM	ELUT+	0,69
2861	UPN80	Overstressed	1,02	PMM	ELUWT+	0,69
53439	] [ PN120	Overstressed	1,01	PMM	ELUWT-	0,00
37827	] [ PN120	Overstressed	1,01	PMM	ELUWT-	0,00
39761	2L60X8/0/	Overstressed	1,00	PMM	ELUWT+	3,49
53562	2L60X8/0/	No Messages	1,00	PMM	ELUWT+	0,00
38006	2L60X8/0/	No Messages	0,95	PMM	ELUWT+	0,00
1	UPN200	No Messages	0,95	PMM	ELUWT+	0,00
4958	UPN80	No Messages	0,95	PMM	ELUT+	0,69
2393	UPN80	No Messages	0,95	PMM	ELUT+	0,69
51876	2L60X8/0/	No Messages	0,95	PMM	ELUT+	3,49
4721	UPN80	No Messages	0,94	PMM	ELUWT+	0,78
2602	UPN80	No Messages	0,94	PMM	ELUWT+	0,78
6106	UPN200	No Messages	0,93	PMM	ELUWT+	0,00
41492	2L60X8/0/	No Messages	0,93	PMM	ELUT+	3,49
4256	UPN80	No Messages	0,92	PMM	ELUT+	0,69
2615	UPN80	No Messages	0,92	PMM	ELUWT+	0,78
50145	2L60X8/0/	No Messages	0,92	PMM	ELUT+	3,49
3095	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUT+	0,69
4708	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUWT+	0,78
5893	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUT-	0,69
3	UPN200	No Messages	0,91	PMM	ELUWT+	0,00
5670	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUT-	0,69
52165	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUWT+	0,84
36605	UPN80	No Messages	0,91	PMM	ELUWT+	0,84
26679	2L60X8/0/	No Messages	0,90	PMM	ELUWT+	0,00
31337	UPN80	No Messages	0,90	PMM	ELUT-	0,69
5436	UPN80	No Messages	0,89	PMM	ELUT-	0,69
39759	2L60X8/0/	No Messages	0,89	PMM	ELUT+	3,49
38005	2L60X8/0/	No Messages	0,87	PMM	ELUWT+	0,00
53607	2L60X8/0/	No Messages	0,87	PMM	ELUT+	3,49
4679	IPE120	No Messages	0,87	PMM	ELUWT+	0,73
53561	2L60X8/0/	No Messages	0,86	PMM	ELUWT+	0,00
25404	UPN200	No Messages	0,86	PMM	ELUWT+	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
3041	IPE120	No Messages	0,86	PMM	ELUWT+	0,73
5659	UPN80	No Messages	0,85	PMM	ELUT-	0,69
1705	IPE140	No Messages	0,85	PMM	ELUSCT+	2,42
1703	IPE140	No Messages	0,85	PMM	ELUSCT+	2,90
60556	IPE140	No Messages	0,85	PMM	ELUSCT+	2,42
60554	IPE140	No Messages	0,85	PMM	ELUSCT+	2,90
5904	UPN80	No Messages	0,85	PMM	ELUT-	0,69
43223	2L60X8/0/	No Messages	0,85	PMM	ELUT+	3,49
33972	IPE140	No Messages	0,85	PMM	ELUSCT-	1,90
2618	UPN80	No Messages	0,85	PMM	ELUT+	0,69
4733	UPN80	No Messages	0,85	PMM	ELUT+	0,69
48414	2L60X8/0/	No Messages	0,84	PMM	ELUT+	3,49
32241	IPE140	No Messages	0,84	PMM	ELUSCT-	1,90
4475	UPN80	No Messages	0,84	PMM	ELUWT+	0,69
2848	UPN80	No Messages	0,83	PMM	ELUWT+	0,69
37434	IPE140	No Messages	0,83	PMM	ELUSCT-	1,90
35703	IPE140	No Messages	0,83	PMM	ELUSCT-	1,90
53609	2L60X8/0/	No Messages	0,82	PMM	ELUT+	3,49
58825	IPE140	No Messages	0,82	PMM	ELUSCT-	2,42
32860	IPE140	No Messages	0,82	PMM	ELUSCT+	2,42
32858	IPE140	No Messages	0,82	PMM	ELUSCT+	2,90
58823	IPE140	No Messages	0,82	PMM	ELUSCT+	2,90
55340	2L60X8/0/	No Messages	0,82	PMM	ELUT+	3,49
4022	UPN80	No Messages	0,81	PMM	ELUT+	0,69
25402	UPN200	No Messages	0,81	PMM	ELUWT+	0,00
3329	UPN80	No Messages	0,81	PMM	ELUT+	0,69
181	UPN80	No Messages	0,81	PMM	ELUT-	0,69
58204	IPE140	No Messages	0,81	PMM	ELUSCT-	2,10
56473	IPE140	No Messages	0,81	PMM	ELUSCT-	2,10
38028	2L60X8/0/	No Messages	0,81	PMM	ELUT+	3,49
5202	UPN80	No Messages	0,80	PMM	ELUT-	0,69
26792	2L60X8/0/	No Messages	0,80	PMM	ELUWT+	0,00
51878	2L60X8/0/	No Messages	0,80	PMM	ELUT+	3,49
5849	IPE120	No Messages	0,80	PMM	ELUSCT-	0,73
6083	IPE120	No Messages	0,80	PMM	ELUSCT-	0,73
6108	UPN200	No Messages	0,80	PMM	ELUWT+	0,00
4835	UPN80R	No Messages	0,80	PMM	ELUWT+	0,72
2731	UPN80R	No Messages	0,80	PMM	ELUWT+	0,72
5880	UPN80	No Messages	0,80	PMM	ELUSCT+	0,69
5655	UPN80	No Messages	0,80	PMM	ELUSCT+	0,69
2852	UPN80	No Messages	0,79	PMM	ELUT+	0,69
53458	] [ PN120	No Messages	0,79	PMM	ELUWT-	0,00
4499	UPN80	No Messages	0,79	PMM	ELUT+	0,69
37846	] [ PN120	No Messages	0,79	PMM	ELUWT-	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
1069	IPE140	No Messages	0,79	PMM	ELUSCT+	2,35
59923	IPE140	No Messages	0,79	PMM	ELUSCT+	2,35
59925	IPE140	No Messages	0,79	PMM	ELUSCT-	2,35
1071	IPE140	No Messages	0,79	PMM	ELUSCT+	2,35
38030	2L60X8/0/	No Messages	0,79	PMM	ELUWT+	3,49
53011	IPE140	No Messages	0,78	PMM	ELUSCT-	2,10
37978	2L60X8/0/	No Messages	0,78	PMM	ELUWT+	0,00
52184	UPN80	No Messages	0,78	PMM	ELUWT+	0,84
54742	IPE140	No Messages	0,77	PMM	ELUSCT-	2,10
36586	UPN80	No Messages	0,77	PMM	ELUWT+	0,84
44954	2L60X8/0/	No Messages	0,77	PMM	ELUT+	3,49
36297	2L60X8/0/	No Messages	0,77	PMM	ELUT+	3,49
51831	2L60X8/0/	No Messages	0,77	PMM	ELUWT+	0,00
55293	2L60X8/0/	No Messages	0,77	PMM	ELUWT+	0,00
5192	UPN80	No Messages	0,77	PMM	ELUT+	0,69
1083	IPE140	No Messages	0,77	PMM	ELUSCT-	1,90
191	UPN80	No Messages	0,77	PMM	ELUT+	0,69
46683	2L60X8/0/	No Messages	0,76	PMM	ELUT+	3,49
39165	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT-	1,90
57094	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,42
34591	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,42
57092	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,90
34589	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,90
37977	2L60X8/0/	No Messages	0,76	PMM	ELUWT+	0,00
32227	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,35
58192	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,35
32229	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,35
58194	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT+	2,35
59935	IPE140	No Messages	0,76	PMM	ELUSCT-	2,10
2380	UPN80	No Messages	0,76	PMM	ELUWT+	0,69
4943	UPN80	No Messages	0,76	PMM	ELUWT+	0,69
26677	2L60X8/0/	No Messages	0,75	PMM	ELUWT+	0,00
53406	] [ PN120	No Messages	0,75	PMM	ELUWT-	0,00
5646	UPN80	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT+	0,69
14	UPN200	No Messages	0,75	PMM	ELUWT+	0,00
5889	UPN80	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT+	0,69
37860	] [ PN120	No Messages	0,75	PMM	ELUWT-	0,00
55338	2L60X8/0/	No Messages	0,75	PMM	ELUT+	3,49
44977	IPE140	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT-	2,42
46708	IPE140	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT-	2,42
46706	IPE140	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT+	2,90
44975	IPE140	No Messages	0,75	PMM	ELUSCT+	2,90
3788	UPN80	No Messages	0,74	PMM	ELUT+	0,69
39737	2L60X8/0/	No Messages	0,74	PMM	ELUWT+	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
36275	2L60X8/0/	No Messages	0,74	PMM	ELUWT+	0,00
53551	2L60X8/0/	No Messages	0,74	PMM	ELUWT+	0,00
51708	] [ PN120	No Messages	0,74	PMM	ELUWT-	0,00
41490	2L60X8/0/	No Messages	0,74	PMM	ELUT+	3,49
3563	UPN80	No Messages	0,74	PMM	ELUT+	0,69
39558	] [ PN120	No Messages	0,74	PMM	ELUWT-	0,00
5425	UPN80	No Messages	0,74	PMM	ELUT-	0,69
36247	2L60X8/0/	No Messages	0,74	PMM	ELUWT+	0,00
50147	2L60X8/0/	No Messages	0,73	PMM	ELUT+	3,49
53632	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,42
38053	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,42
53630	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,90
38051	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,90
53435	] [ PN120	No Messages	0,73	PMM	ELUWT-	2,34
31348	UPN80	No Messages	0,73	PMM	ELUT-	0,69
37823	] [ PN120	No Messages	0,73	PMM	ELUWT-	2,34
53534	[] PN260	No Messages	0,73	PMM	ELUWT-	0,17
43246	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT-	2,42
48439	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,42
48437	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,90
43244	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	2,90
7312	UPN200	No Messages	0,73	PMM	ELUWT+	0,00
31324	UPN80	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	0,69
51280	IPE140	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT-	2,10
53552	2L60X8/0/	No Messages	0,73	PMM	ELUWT+	0,00
5421	UPN80	No Messages	0,73	PMM	ELUSCT+	0,69
53436	] [ PN120	No Messages	0,73	PMM	ELUWT-	0,00
2601	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUWT+	0,60
4703	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUWT+	0,60
21856	UPN200	No Messages	0,72	PMM	ELUT+	0,20
37824	] [ PN120	No Messages	0,72	PMM	ELUWT-	0,00
4486	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUWT+	0,69
2837	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUWT+	0,69
3086	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUT+	0,69
4265	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUT+	0,69
2384	UPN80	No Messages	0,72	PMM	ELUT+	0,69
46685	2L60X8/0/	No Messages	0,72	PMM	ELUT+	3,49
4967	UPN80	No Messages	0,71	PMM	ELUT+	0,69
53437	] [ PN120	No Messages	0,71	PMM	ELUWT-	0,00
11000	UPN200	No Messages	0,71	PMM	ELUT+	0,00
37825	] [ PN120	No Messages	0,71	PMM	ELUWT-	0,00
26665	2L60X8/0/	No Messages	0,71	PMM	ELUWT+	0,00
5615	IPE120	No Messages	0,71	PMM	ELUSCT-	0,73
26793	2L60X8/0/	No Messages	0,71	PMM	ELUWT+	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
57071	2L60X8/0/	No Messages	0,71	PMM	ELUT+	3,49
2573	IPE120	No Messages	0,71	PMM	ELUWT+	0,73
44952	2L60X8/0/	No Messages	0,71	PMM	ELUT+	3,49
55292	2L60X8/0/	No Messages	0,71	PMM	ELUWT+	0,00
14618	UPN200	No Messages	0,71	PMM	ELUT+	0,00
15824	UPN200	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,00
32728	IPE120	No Messages	0,70	PMM	ELUSCT-	0,73
36299	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	3,49
33958	IPE140	No Messages	0,70	PMM	ELUSCT+	2,35
56461	IPE140	No Messages	0,70	PMM	ELUSCT+	2,35
33960	IPE140	No Messages	0,70	PMM	ELUSCT+	2,35
56463	IPE140	No Messages	0,70	PMM	ELUSCT+	2,35
39686	[] PN260	No Messages	0,70	PMM	ELUWT-	0,00
5147	IPE120	No Messages	0,70	PMM	ELUWT+	0,73
26693	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUWT+	0,00
36274	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUWT+	0,00
20650	UPN200	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,20
13412	UPN200	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,00
55265	[] PN260	No Messages	0,70	PMM	ELUWT-	0,00
3554	UPN80	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,69
48416	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	3,49
36246	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUWT+	0,00
26667	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUWT+	0,00
37955	[] PN260	No Messages	0,70	PMM	ELUWT-	0,00
3797	UPN80	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,69
43221	2L60X8/0/	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	3,49
17030	UPN200	No Messages	0,70	PMM	ELUT+	0,00
41515	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,42
50170	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,42
50168	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,90
41513	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,90
11	UPN200	No Messages	0,69	PMM	ELUWT+	0,00
40896	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT-	1,90
44344	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,35
46075	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,35
44346	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,35
46077	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT-	2,35
55282	2L60X8/0/	No Messages	0,69	PMM	ELUWT+	0,00
37420	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,35
52999	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT+	2,35
37422	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT-	2,35
53001	IPE140	No Messages	0,69	PMM	ELUSCT-	2,35
53397	] [ PN120	No Messages	0,69	PMM	ELUWT+	0,00
37851	] [ PN120	No Messages	0,69	PMM	ELUWT+	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
12206	UPN200	No Messages	0,69	PMM	ELUT+	0,00
25415	UPN200	No Messages	0,69	PMM	ELUWT+	0,00
3320	UPN80	No Messages	0,69	PMM	ELUT+	0,69
4031	UPN80	No Messages	0,69	PMM	ELUT+	0,69
19444	UPN200	No Messages	0,69	PMM	ELUT+	0,20
51803	[] PN260	No Messages	0,68	PMM	ELUWT-	0,17
6119	UPN200	No Messages	0,68	PMM	ELUWT+	0,00
4601	UPN80R	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,72
2965	UPN80R	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,72
11002	UPN200	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,20
36322	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,42
55363	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT-	2,42
36320	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,90
55361	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,90
18236	UPN200	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,00
51901	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,42
39784	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,42
39782	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,90
51899	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,90
18238	UPN200	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,20
51830	2L60X8/0/	No Messages	0,68	PMM	ELUWT+	0,00
73	UPN200	No Messages	0,68	PMM	ELUT+	0,20
39736	2L60X8/0/	No Messages	0,68	PMM	ELUWT+	0,00
47806	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,35
42613	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,35
42615	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,35
47808	IPE140	No Messages	0,68	PMM	ELUSCT+	2,35
3319	UPN80	No Messages	0,67	PMM	ELUT-	0,69
15826	UPN200	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	0,20
4032	UPN80	No Messages	0,67	PMM	ELUT-	0,69
21854	UPN200	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	0,00
17032	UPN200	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	0,20
52163	UPN80	No Messages	0,67	PMM	ELUWT+	0,84
14620	UPN200	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	0,20
34566	2L60X8/0/	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	3,49
36603	UPN80	No Messages	0,67	PMM	ELUWT+	0,84
6178	UPN200	No Messages	0,67	PMM	ELUT+	0,20
39762	2L60X8/0/	No Messages	0,67	PMM	ELUWT+	3,24
36224	[] PN260	No Messages	0,67	PMM	ELUWT-	0,17
3553	UPN80	No Messages	0,67	PMM	ELUT-	0,69
53009	IPE140	No Messages	0,67	PMM	ELUSCT+	1,99
49549	IPE140	No Messages	0,67	PMM	ELUSCT-	2,10
55283	2L60X8/0/	No Messages	0,66	PMM	ELUWT+	0,00
55170	] [ PN120	No Messages	0,66	PMM	ELUWT-	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
3798	UPN80	No Messages	0,66	PMM	ELUT-	0,69
36096	] [ PN120	No Messages	0,66	PMM	ELUWT-	0,00
2383	UPN80	No Messages	0,66	PMM	ELUT-	0,69
25474	UPN200	No Messages	0,66	PMM	ELUT+	0,20
46610	[] PN260	No Messages	0,66	PMM	ELUWT-	0,00
19442	UPN200	No Messages	0,66	PMM	ELUT+	0,00
13414	UPN200	No Messages	0,66	PMM	ELUT+	0,20
44879	[] PN260	No Messages	0,66	PMM	ELUWT-	0,17
4968	UPN80	No Messages	0,66	PMM	ELUT-	0,69
26803	2L60X8/0/	No Messages	0,66	PMM	ELUWT+	0,00
42627	IPE140	No Messages	0,66	PMM	ELUSCT-	1,90
1475	] [ PN120	No Messages	0,66	PMM	ELUSCT-	0,00
20578	UPN200	No Messages	0,66	PMM	ELUWT-	0,00
2822	IPE120	No Messages	0,65	PMM	ELUWT-	0,00
60355	] [ PN120	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT-	0,00
37428	IPE140	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT+	2,24
4924	IPE120	No Messages	0,65	PMM	ELUWT-	0,00
26666	2L60X8/0/	No Messages	0,65	PMM	ELUWT+	0,00
24198	UPN200	No Messages	0,65	PMM	ELUWT+	0,00
12208	UPN200	No Messages	0,65	PMM	ELUT+	0,20
23062	UPN200	No Messages	0,65	PMM	ELUT+	0,20
20648	UPN200	No Messages	0,65	PMM	ELUT+	0,00
1474	] [ PN120	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT-	0,00
60354	] [ PN120	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT-	0,00
24268	UPN200	No Messages	0,65	PMM	ELUT+	0,20
236	UPN80	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT-	0,84
59107	UPN80	No Messages	0,65	PMM	ELUSCT-	0,84
5965	TUBO 50X6	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	0,00
6116	UPN200	No Messages	0,64	PMM	ELUWT+	0,00
5700	TUBO 50X6	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	0,48
59933	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	1,99
58202	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	1,99
51268	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,35
39151	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,35
39153	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	2,35
51270	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,35
49537	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,35
40882	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,35
40884	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	2,35
49539	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	2,35
47818	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	2,10
1543	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	0,00
5350	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	0,00
3085	UPN80	No Messages	0,64	PMM	ELUT-	0,69

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
1077	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,24
53008	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUWT+	2,74
5584	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	0,00
58624	] [ PN120	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	0,00
32698	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	1,38
4266	UPN80	No Messages	0,64	PMM	ELUT-	0,69
32626	] [ PN120	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT-	0,00
5818	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	0,00
6053	IPE100	No Messages	0,64	PMM	ELUT+	1,38
60458	[] PN260	No Messages	0,64	PMM	ELUWT-	0,17
32235	IPE140	No Messages	0,64	PMM	ELUSCT+	2,24
6052	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,00
53585	2L60X8/0/	No Messages	0,63	PMM	ELUWT+	0,00
5819	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	1,38
1607	[] PN260	No Messages	0,63	PMM	ELUWT-	0,00
7384	UPN200	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,20
32697	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	1,38
4445	IPE120	No Messages	0,63	PMM	ELUWT+	0,73
1542	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,00
5585	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	1,38
6054	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,00
5817	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	1,38
5351	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	1,38
255	UPN80	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT-	0,84
59088	UPN80	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT-	0,84
26806	2L60X8/0/	No Messages	0,63	PMM	ELUWT+	0,00
35689	IPE140	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT+	2,35
54730	IPE140	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT+	2,35
35691	IPE140	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT-	2,35
54732	IPE140	No Messages	0,63	PMM	ELUSCT-	2,35
2543	IPE100	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,00
4837	UPN80R	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,72
2729	UPN80R	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,72
26778	2L60X8/0/	No Messages	0,63	PMM	ELUWT+	0,00
5426	UPN80	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,69
9796	UPN200	No Messages	0,63	PMM	ELUT+	0,20
5116	IPE100	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
37983	2L60X8/0/	No Messages	0,62	PMM	ELUWT+	0,00
25412	UPN200	No Messages	0,62	PMM	ELUWT+	0,00
5069	UPN80R	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,72
53434	] [ PN120	No Messages	0,62	PMM	ELUWT+	2,24
31347	UPN80	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,69
2497	UPN80R	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,72
71	UPN200	No Messages	0,62	PMM	ELUT-	0,00

Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
37822	] [ PN120	No Messages	0,62	PMM	ELUWT+	2,24
60321	] [ PN120	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT-	0,00
4928	IPE120	No Messages	0,62	PMM	ELUWT-	0,00
32699	IPE100	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
1507	] [ PN120	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT-	0,00
26861	2L60X8/0/	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT-	0,00
3787	UPN80	No Messages	0,62	PMM	ELUT-	0,69
59931	IPE140	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT+	2,24
3564	UPN80	No Messages	0,62	PMM	ELUT-	0,69
1081	IPE140	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT-	2,10
5583	IPE100	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	1,38
5731	TUBO 50X6	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT+	0,00
1079	IPE140	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT+	1,99
2818	IPE120	No Messages	0,62	PMM	ELUWT-	0,00
31905	TUBO 50X6	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT+	0,00
5934	TUBO 50X6	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT+	0,48
2542	IPE100	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
9794	UPN200	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
23060	UPN200	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
59937	IPE140	No Messages	0,62	PMM	ELUSCT-	1,90
6176	UPN200	No Messages	0,62	PMM	ELUT+	0,00
2849	UPN80	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,78
50434	UPN80	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,84
5466	TUBO 50X6	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT+	0,48
16960	UPN200	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,00
3275	IPE120	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,73
39709	2L60X8/0/	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,00
56471	IPE140	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT+	1,99
8590	UPN200	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	0,20
5117	IPE100	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	1,38
38336	UPN80	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,84
5820	IPE100	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	0,00
6051	IPE100	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	1,38
4474	UPN80	No Messages	0,61	PMM	ELUWT+	0,78
60322	] [ PN120	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
5962	TUBO 50X6	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT+	0,85
5703	TUBO 50X6	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT+	0,00
58749	2L60X8/0/	No Messages	0,61	PMM	ELUWT-	0,00
1508	] [ PN120	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
4367	UPN80R	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	0,72
3199	UPN80R	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	0,72
26859	2L60X8/0/	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
26845	2L60X8/0/	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
58623	] [ PN120	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00

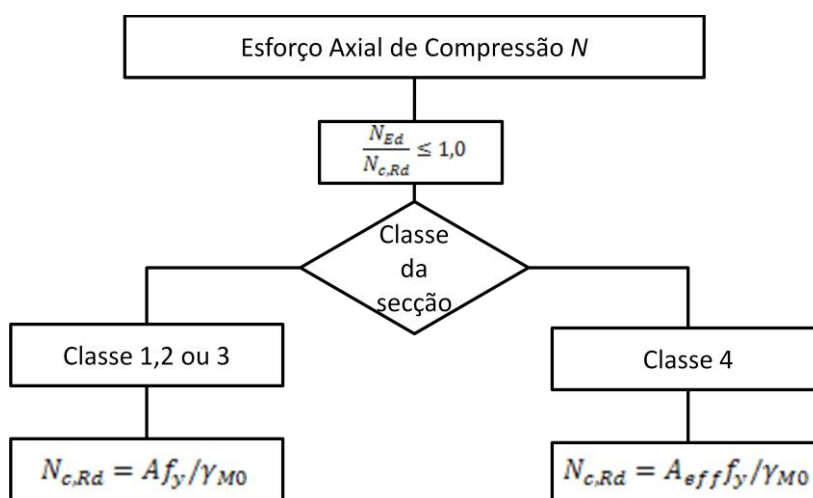
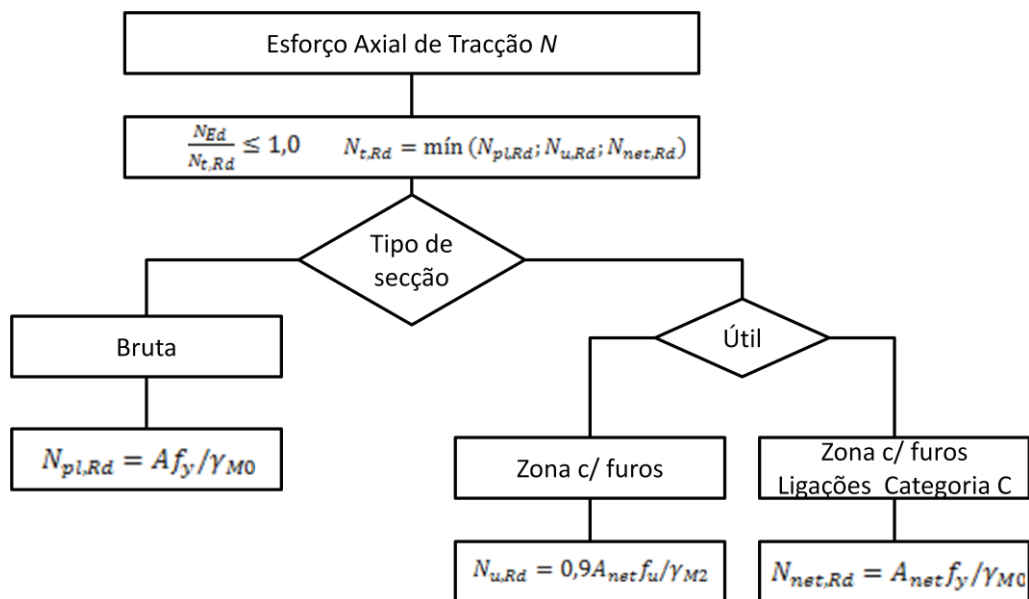
Frame	DesignSect	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location
32625	] [ PN120	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
26609	2L60X8/0/	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT-	0,00
51278	IPE140	No Messages	0,61	PMM	ELUSCT+	1,99
25472	UPN200	No Messages	0,61	PMM	ELUT+	0,00
10932	UPN200	No Messages	0,60	PMM	ELUWT-	0,00
33966	IPE140	No Messages	0,60	PMM	ELUSCT+	2,24
24266	UPN200	No Messages	0,60	PMM	ELUT+	0,00
15754	UPN200	No Messages	0,60	PMM	ELUWT+	0,00
53438	] [ PN120	No Messages	0,60	PMM	ELUWT-	0,00
57018	2L60X8/0/	No Messages	0,60	PMM	ELUWT-	0,00

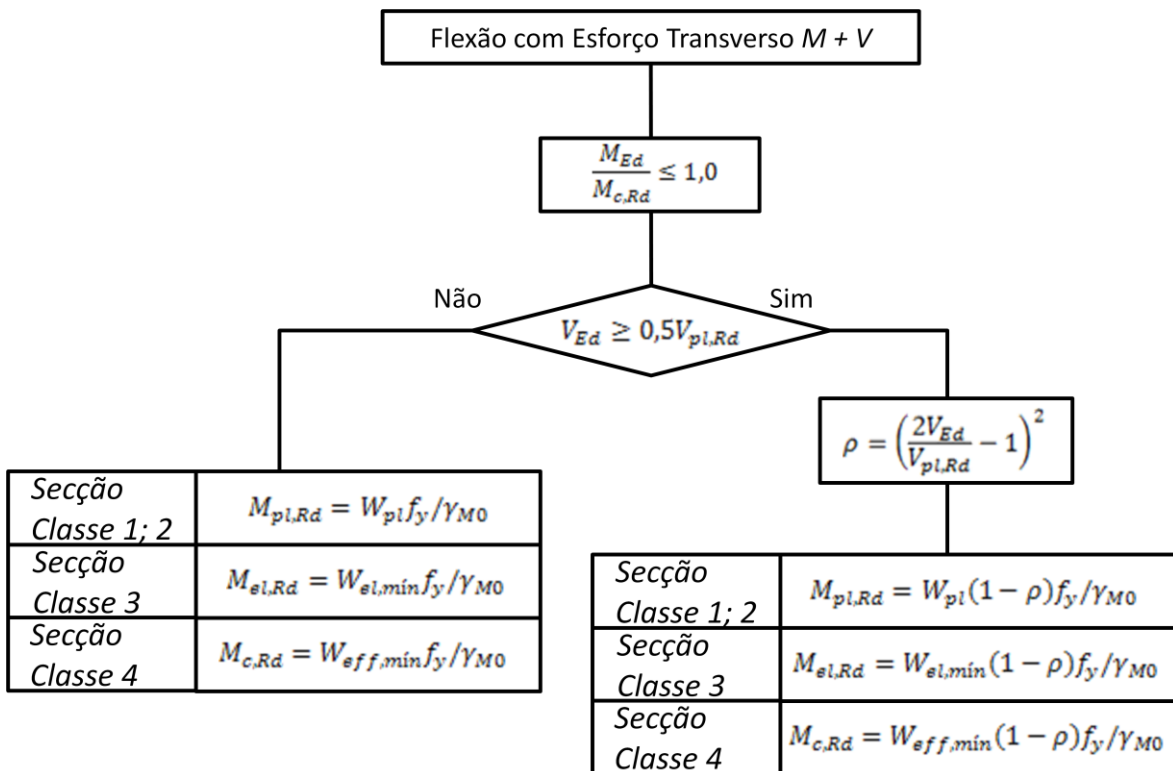
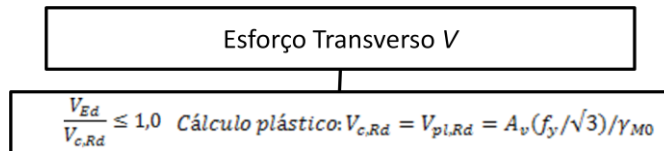
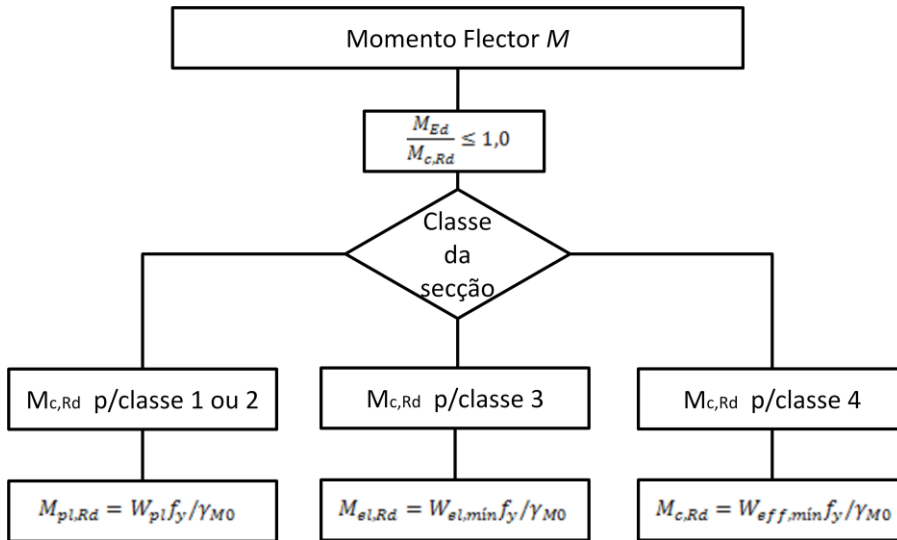
Tabela 3.1 - Rácio dos elementos metálicos (Só rácios superiores a 60%).

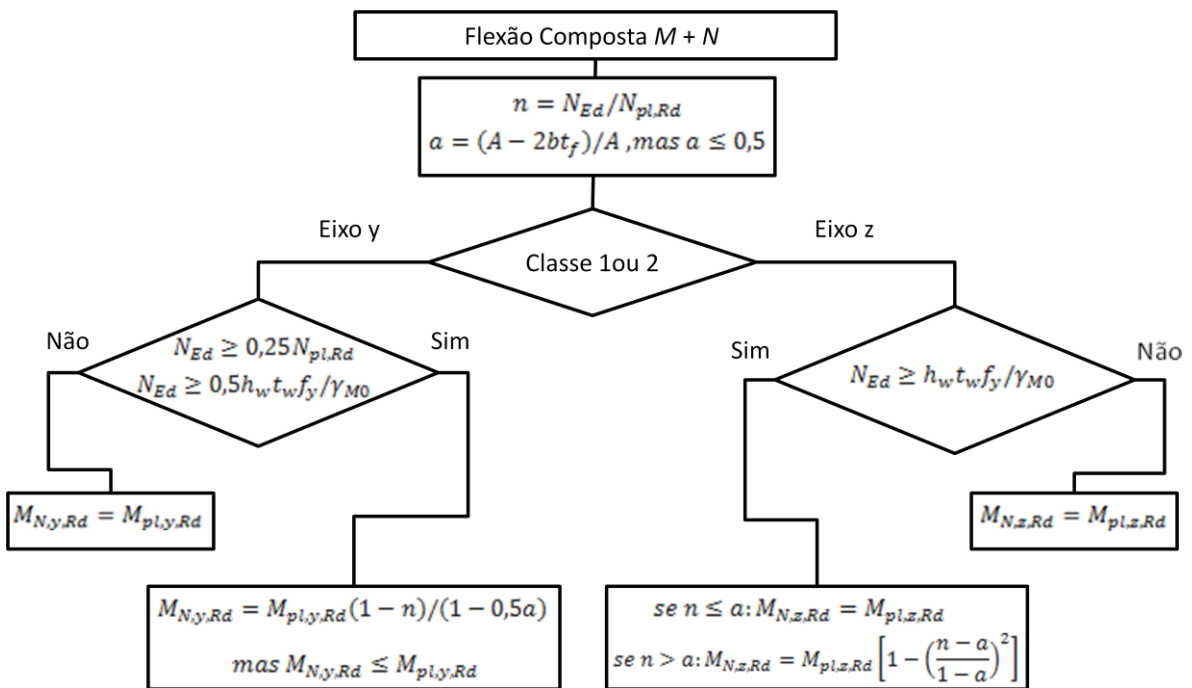
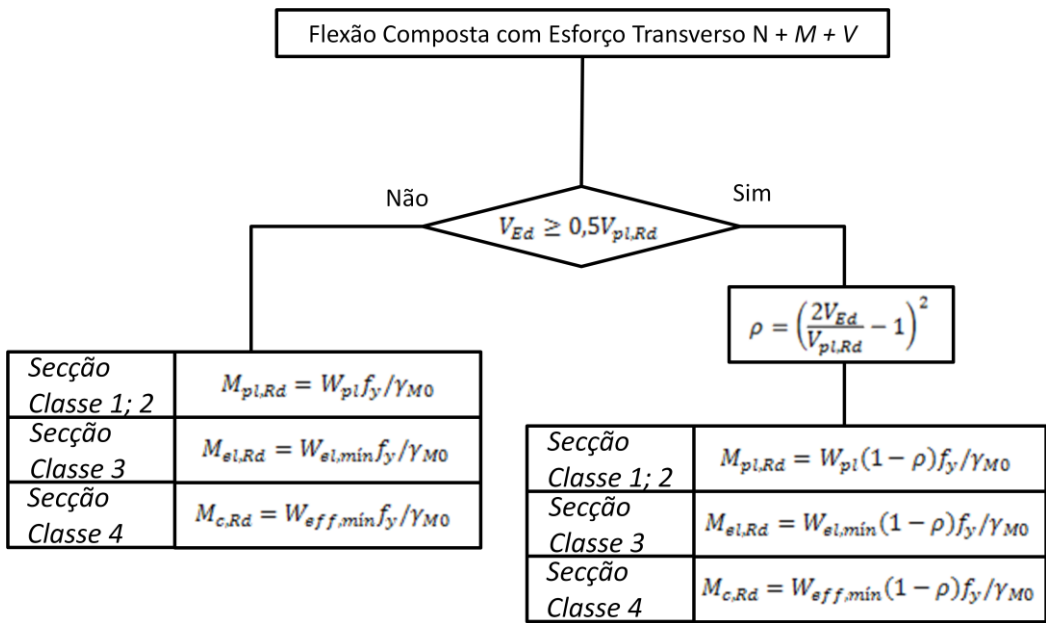
As barras com rácios superiores à unidade são elementos secundários de travamento e serão reformuladas aquando da elaboração do projecto de execução. Estas barras repetem-se nos outros sectores quando a direcção do vento muda de quadrante.

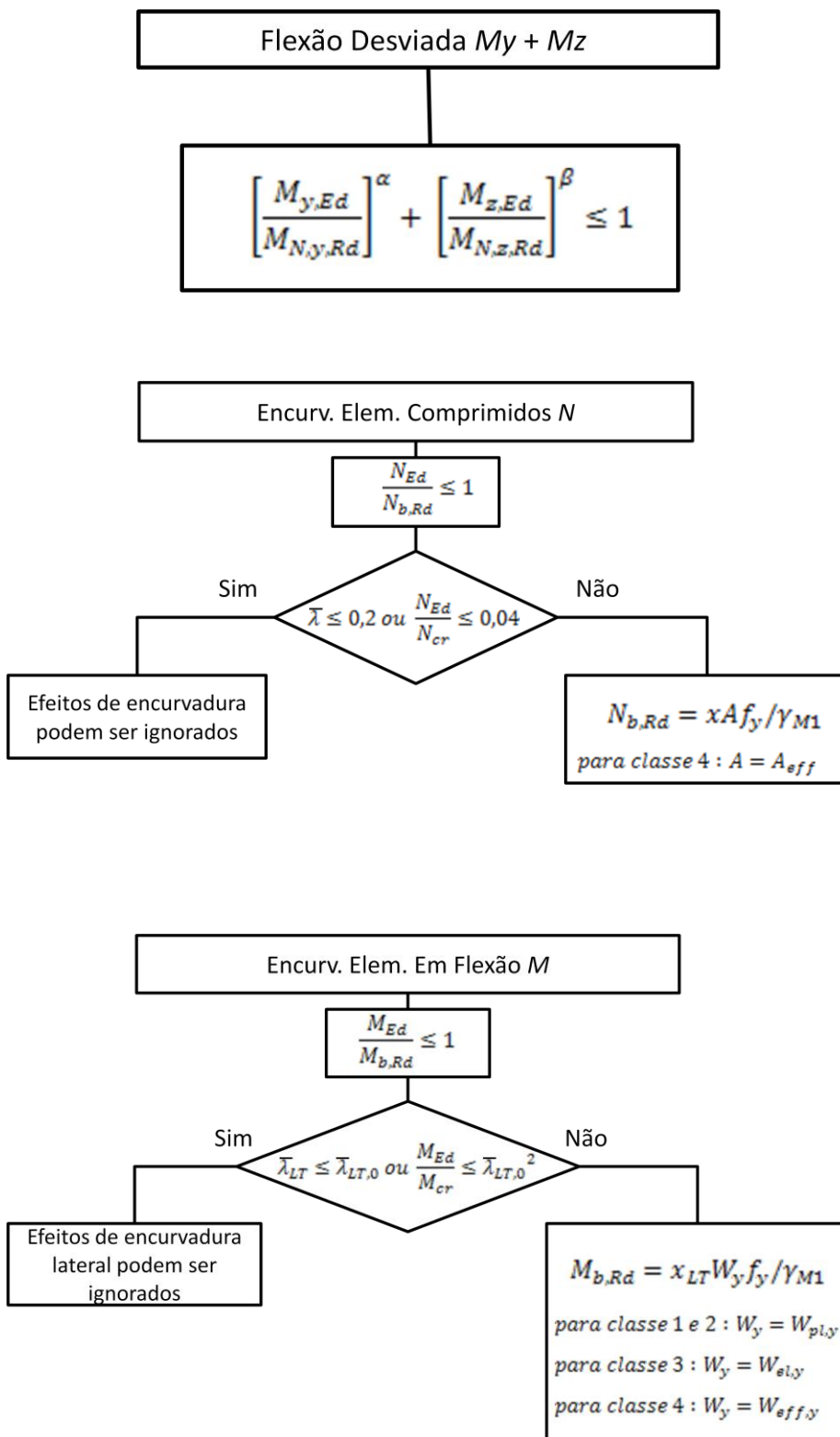
3.2 VERIFICAÇÃO DAS BARAS AOS E.L.U. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1 (TABELA DE CÁLCULO EXCEL)

A Tabela de Cálculo foi elaborada com recurso a uma folha Excel de acordo com a NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço, a partir dos seguintes fluxogramas:









Flexão Composta com Compressão $N + M$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO														
CLASSE	1	Ir	0,000000											
ϵ_y	2,90	α_{LT}	0,9938	$\bar{\lambda}_{m, \epsilon z}$	0,53	$\bar{\lambda}_0$	0,46	$\bar{\lambda}_{LT}$	0,40	n_{pl}	0,1828			
μ_y	1,00	μ_z	0,99	C_{my}	0,9600	C_{mz}	0,7087	C_{mLT}	10000	M_{zrE}	381,16 kNm			
	0,40	>	0,20	b_{LT}	0,0048	C_{yy}	1,0348	Mínimo	0,838	k_{yy}	0,9527			
				d_{LT}	0,2267	C_{yz}	1,0461		0,351	k_{yz}	0,4784			
				d_{LT}	0,3473	C_{zy}	0,9514		0,448	k_{zy}	0,5513			
				e_{LT}	2,4044	C_{zz}	0,9237		0,521	k_{zz}	0,8007			
Diag. Mom. Y-Y			Diag. Mom. Z-Z											
Tipo DM	1	Tipo DM	1											
$C_{my,0}$	0,892	$C_{mz,0}$	0,709	W_y	228	cm ³	$\Delta M_{y,Ed}$	0	KN.m					
ψ	0,48	"-1 a 1"	ψ	-0,33	"-1 a 1"	$W_{eff,z}$	cm ³	$\Delta M_{z,Ed}$	0	KN.m				
$C_{my,0}$	0,892		$C_{mz,0}$	0,709										
2		2												
\bar{e}_x	0,00105	m	\bar{e}_x	0,00105	m	(6.61)	0,7440	<=	1	OK				
$M_{y,Ed(m \times s)}$	160	KN/m	$M_{z,Ed(m \times s)}$	20	KN/m	(6.62)	0,5790	<=	1	OK				
I_y	1,91E-05	m ⁴	I_z	1,48E-06	m ⁴									
$C_{my,0}$	0,981		$C_{mz,0}$	0,961										
3		3												
$C_{my,0}$	0,995		$C_{mz,0}$	0,991		(6.61)	Flácio N	0,204	Flácio My	0,499	Flácio Mz	0,042	Flácio Total	0,744
4		4												
$C_{my,0}$	1,001		$C_{mz,0}$	1,002		(6.62)	0,221	0,289	0,070	0,579				

Figura 3.15 – Exemplo de Folha de Cálculo para Flexão Composta com Compressão.

Flexão Composta com Tracção $N + M$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Para a análise da estrutura foram criadas as seguintes famílias de barras:

Arcos Meridianos:

Cordões Superiores

Cordões Inferiores

Diagonais

Pórticos Secundários:

Cordões Superiores

Cordões Inferiores

Diagonais

Madres

Restantes Barras

Os elementos seguidamente apresentados fazem parte do Arco Meridiano mais solicitado no caso dos elementos pertencentes à família dos Arcos Meridianos, bem como dos Sectores mais solicitados no caso dos elementos pertencentes às famílias Pórticos Secundários e Madres. Dentro de cada subfamília foram analisadas três barras, que correspondem em regra a uma das barras mais solicitadas, e duas barras com rácios representativos da maioria das barras pertencentes à subfamília em causa.

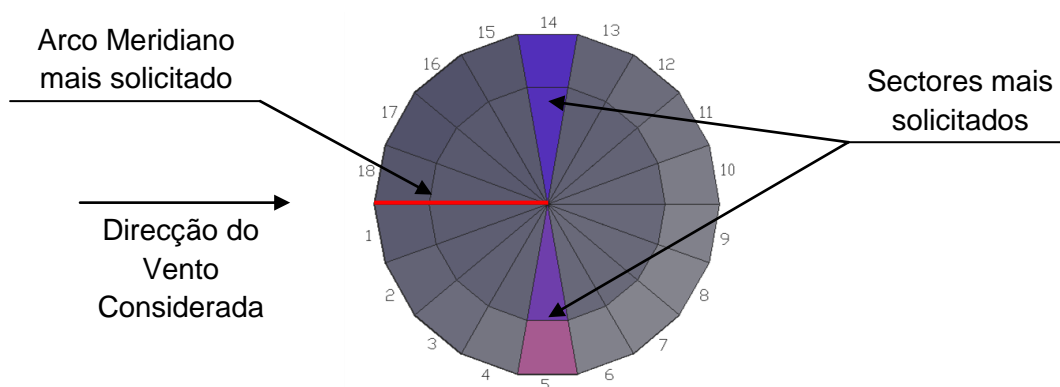


Figura 3.16 – Arco Meridiano e Sectores mais solicitados com base na direcção do vento considerada.

A Tabela de Cálculo utilizada foi desenvolvida tendo por base (b),(e),(j).

3.2.1 ARCOS MERIDIANOS CORDÕES INFERIORES

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 270 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
270	UPN 160	18,8	24	12,6	925	116	138	85,3	18,3	35,2	7,39	3,26

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	0,88	2,65	0,88	255,00	0,60	0,60	0,89	0,38	1	0,00	0,00	0,00

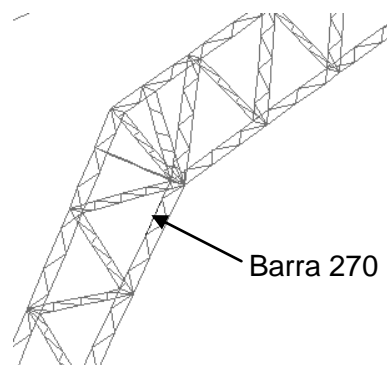
Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,30	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	

Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,b,Rd}}$	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	0,02	0,35	0,35

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.2)	0,299	0,018	0,030	0,348

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

Resultados SAP2000 Barra 270:



Frame : 270	Design Sect: UPN160						
X Mid : 23,109	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 24,455	Sect Class : Class 1						
Length : 0,882	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,882	RLLF : 1,000						
Area : 0,002	SMajor : 1,156E-04	rMajor : 0,062	AUMajor: 0,001				
IMajor : 9,246E-06	SMinor : 1,829E-05	rMinor : 0,019	AUMinor: 0,001				
IMinor : 0,000	ZMajor : 1,411E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 3,912E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,882	255,034	0,890	-0,376	-0,602	0,599	-7,044E-05	
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.2.1)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,344	0,299	0,018	0,027	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	255,034	655,894	852,710	683,837	655,894		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity			
Major Moment	0,890	50,091	50,091	38,220			
Minor Moment	-0,376	13,888	13,888				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	3,000	1,139	0,967		1,019	
Minor Moment	1,000	1,000	0,571		0,343		
SHEAR DESIGN							
	Ved Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major Shear	0,602	245,951	0,002	OK	0,000		
Minor Shear	0,599	233,244	0,003	OK	0,000		

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 277 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
277	UPN 160	18,8	24	12,6	925	116	138	85,3	18,3	35,2	7,39	3,26

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	0,96	1,92	0,96	46,10	0,00	15,70	23,40	0,00	1	0,00	0,00	0,00

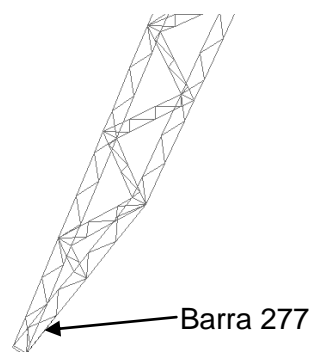
Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,05	0,00	0,06	0,48	0,00	0,48	0,00	0,00	

Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	0,59	0,53	0,59

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.2)	0,054	0,478	0,000	0,532

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

Resultados SAP2000 Barra 277 :



Frame : 277	Design Sect: UPN160						
X Mid : 10,406	Design Type: Brace						
Y Mid : -0,440	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 10,253	Sect Class : Class 1						
Length : 0,958	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,002	SMajor : 1,156E-04	rMajor : 0,062	AUMajor: 0,001				
IMajor : 9,246E-06	SMinor : 1,829E-05	rMinor : 0,019	AUMinor: 0,001				
IMinor : 0,000	ZMajor : 1,411E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 3,912E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	46,098	23,402	0,002	15,709	0,006	4,061E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.2.1)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,521	= 0,054	+ 0,467	+ 0,000	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	46,098	627,845	852,710	758,784	627,845		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity			
Major Moment	23,402	50,091	50,091	40,028			
Minor Moment	0,002	13,888	13,888				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	2,000	1,013	0,990		1,432	
Minor Moment	1,000	1,000	0,500		0,300		
SHEAR DESIGN							
	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major Shear	15,709	245,951	0,064	OK	0,000		
Minor Shear	0,006	233,244	2,525E-05	OK	0,000		

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 317 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
317	UPN 160	18,8	24	12,6	925	116	138	85,3	18,3	35,2	7,39	3,26

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	0,94	2,35	0,94	232,70	0,00	0,90	0,70	0,00	1	0,00	0,00	0,00

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$
0,27	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00

Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,02	0,29	0,29

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.2)	0,273	0,014	0,000	0,287

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

3.2.2 ARCOS MERIDIANOS CORDÕES SUPERIORES

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 11 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
11	UPN 200	25,3	32,2	17,71	1910	191	228	148	27	51,8	11,9	9,07

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	0,86	2,35	0,86	209,00	2,40	20,80	36,00	1,60	1	0,90	0,83	0,87

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,18	0,01	0,06	0,44	0,09	0,44	0,09	0,28	

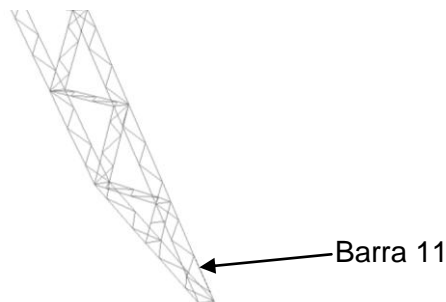
Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,20	0,22	0,21	0,95	0,48	0,55	0,80	0,85	0,52	0,74	0,74

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,204	0,499	0,042	0,744
(6.62)	0,221	0,289	0,070	0,579

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 11:



Frame : 11	Design Sect: UPN200						
X Mid : 10,361	Design Type: Brace						
Y Mid : -0,440	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 10,516	Sect Class : Class 1						
Length : 0,860	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,003	SMajor : 1,911E-04	rMajor : 0,077	AUMajor: 0,002				
IMajor : 1,911E-05	SMinor : 2,700E-05	rMinor : 0,021	AUMinor: 0,001				
IMinor : 1,483E-06	ZMajor : 2,335E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 5,804E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	-209,022	36,060	1,566	20,804	2,396	0,002	
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.2)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,694	0,183	0,435	0,076	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
Axial	-209,022	939,160	1142,745	1142,745	939,160		
MOMENT DESIGN							
	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd			
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Major Moment	36,060	82,893	82,893	70,197			
Minor Moment	1,566	20,604	20,604				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	1,000	2,733	1,038	0,978		1,331	
Minor Moment	1,000	1,000	0,551		0,331		
SHEAR DESIGN							
	Ued	Uc,Rd	Stress Ratio	Status Check	Ted		
	Force	Capacity			Torsion		
Major Shear	20,804	348,431	0,060	OK	0,000		
Minor Shear	2,396	294,732	0,008	OK	0,000		

Nota: Factores de interacção originais

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 27 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUSCT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
27	UPN 200	25,3	32,2	17,71	1910	191	228	148	27	51,8	11,9	9,07

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	0,94	2,35	0,94	337,30	0,58	1,50	1,18	0,44	1	0,90	0,80	0,85

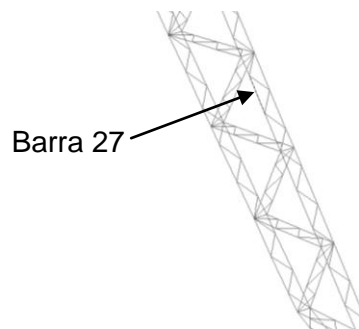
Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,30	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	

Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,33	0,37	0,35	0,95	0,43	0,52	0,65	0,80	0,02	0,39	0,39

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,329	0,017	0,010	0,356
(6.62)	0,369	0,009	0,015	0,394

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$



Resultados SAP2000 Barra 27:

Frame : 27	Design Sect: UPN200						
X Mid : 14,852	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 16,930	Sect Class : Class 1						
Length : 0,940	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,940	RLLF : 1,000						
Area : 0,003	SMajor : 1,911E-04	rMajor : 0,077	AUMajor: 0,002				
IMajor : 1,911E-05	SMinor : 2,700E-05	rMinor : 0,021	AUMinor: 0,001				
IMinor : 1,483E-06	ZMajor : 2,335E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 5,804E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,940	-337,288	1,175	0,441	1,503	-0,582	0,002	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.62)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,398	= 0,372	+ 0,014	+ 0,012	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	-337,288	906,009	1142,745	1019,912	906,009		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity			
Major Moment	1,175	82,893	82,893	66,236			
Minor Moment	0,441	20,604	20,604				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	2,500	1,069	0,966		1,144	
Minor Moment	1,000	1,000	0,659		0,395		
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major Shear	1,503	348,431	0,004	OK	0,000		
Minor Shear	0,582	294,732	0,002	OK	0,000		

Nota: Factores de interacção originais

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 45 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
45	UPN 200	25,3	32,2	17,71	1910	191	228	148	27	51,8	11,9	9,07

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	0,94	2,35	0,94	322,80	0,57	0,37	1,40	0,43	1	0,90	0,80	0,85

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,28	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	

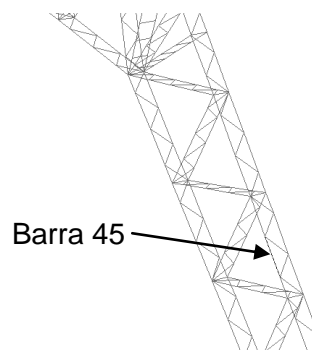
Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,31	0,35	0,33	1,00	0,43	0,55	0,65	0,79	0,02	0,38	0,38

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,315	0,022	0,010	0,347
(6.62)	0,353	0,012	0,015	0,380

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 45:



Frame : 45	Design Sect: UPN200						
X Mid : 18,627	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 22,320	Sect Class : Class 1						
Length : 0,940	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,003	SMajor : 1,911E-04	rMajor : 0,077	AUMajor: 0,002				
IMajor : 1,911E-05	SMinor : 2,700E-05	rMinor : 0,021	AUMinor: 0,001				
IMinor : 1,483E-06	ZMajor : 2,335E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 5,804E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	-322,808	1,397	0,429	0,369	0,573	-2,969E-04	
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.62)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,384	= 0,356	+ 0,013	+ 0,014	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
Axial	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
	-322,808	906,009	1142,745	1019,912	906,009		
MOMENT DESIGN							
	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd			
Major Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Minor Moment	0,429	82,893	82,893	65,552			
		20,604	20,604				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
Major Moment	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Minor Moment	1,000	2,500	1,066	0,969		1,089	
	1,000	1,000	0,644		0,386		
SHEAR DESIGN							
	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted		
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion		
Minor Shear	0,369	348,431	0,001	OK	0,000		
	0,573	294,732	0,002	OK	0,000		

Nota: Factores de interacção originais

Frame : 45	Design Sect: UPN200						
X Mid : 18,627	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 22,320	Sect Class : Class 1						
Length : 0,940	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,003	SMajor : 1,911E-04	rMajor : 0,077	AUMajor: 0,002				
IMajor : 1,911E-05	SMinor : 2,700E-05	rMinor : 0,021	AUMinor: 0,001				
IMinor : 1,483E-06	ZMajor : 2,335E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 5,804E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	-322,808	1,397	0,429	0,369	0,573	-2,969E-04	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
(6.62)	0,378	= 0,356	+ 0,014	+ 0,008	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	-322,808	906,009	1142,745	1019,912	906,009		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity			
Major Moment	1,397	82,893	82,893	65,552			
Minor Moment	0,429	20,604	20,604				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	2,500	1,000	0,550		1,089	
Minor Moment	1,000	1,000	0,650		0,430		
SHEAR DESIGN							
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major Shear	0,369	348,431	0,001	OK	0,000		
Minor Shear	0,573	294,732	0,002	OK	0,000		

Nota: Factores de interacção corrigidos

3.2.3 ARCOS MERIDIANOS DIAGONAIS

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 91 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Barra	Perfil	Características Geométricas e Elásticas										
		G [kg/m]	A [cm ²]	Av _z [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
91	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Aço	L [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	Esforços Actuantes de Cálculo					Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
				N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]				
S 355	0,81	2,03	0,81	30,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,63	0,66	0,63

Rádios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$
0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

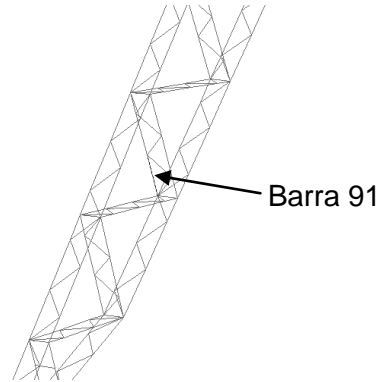
Rádios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,12	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 91:



Frame	: 91	Design Sect:	UPN80				
X Mid	: 14,578	Design Type:	Brace				
Y Mid	: 0,000	Frame Type:	Moment Resisting Frame				
Z Mid	: 14,250	Sect Class:	Class 1				
Length	: 0,808	Major Axis:	0,000 degrees counterclockwise from local 3				
Loc	: 0,808	RLLF	: 1,000				
Area	: 0,001	SMajor	: 2,645E-05	rMajor	: 0,031	AUMajor	: 4,800E-04
IMajor	: 1,058E-06	SMinor	: 6,348E-06	rMinor	: 0,013	AUMinor	: 6,000E-04
IMinor	: 0,000	ZMajor	: 3,281E-05	E	: 199947978,80		
Ixy	: 0,000	ZMinor	: 1,335E-05	Fy	: 355000,000		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location		P	M33	M22	U2	U3	T
0,808		-30,089	0,024	0,003	-0,212	-0,007	0,000
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.61)		Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
		0,127	0,125	0,000	0,002	1,000	OK
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
Axial	-30,089	240,824	391,210	240,824	254,919		
MOMENT DESIGN							
	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd			
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Major Moment	0,024	11,648	11,648	9,748			
Minor Moment	0,003	4,739	4,739				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	1,000	2,500	1,084	0,972		1,880	
Minor Moment	1,000	1,000	0,657		0,394		
SHEAR DESIGN							
	Ued	Uc,Rd	Stress Ratio	Status Check	Ted		
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion		
Major Shear	0,212	98,380	0,002	OK	0,000		
Minor Shear	0,007	122,976	5,332E-05	OK	0,000		

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 107 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
107	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	0,76	1,90	0,76	53,53	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,66	0,69	0,66

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

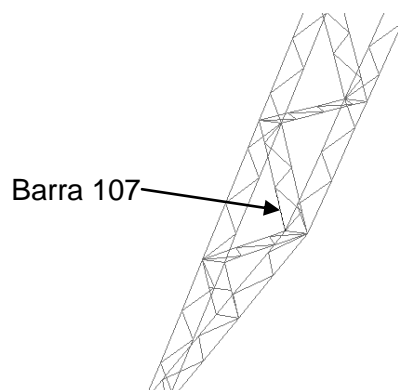
Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,21	0,20	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 107:



Frame : 107	Design Sect: UPH80						
X Mid : 13,140	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 12,392	Sect Class : Class 1						
Length : 0,762	Major Axis : 0,000	degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,762	RLLF : 1,000						
Area : 0,001	SMajor : 2,645E-05	rMajor : 0,031	AUMajor: 4,800E-04				
IMajor : 1,058E-06	SMinor : 6,348E-06	rMinor : 0,013	AUMinor: 6,000E-04				
IMinor : 0,000	ZMajor : 3,281E-05	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,335E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,762	-53,532	0,019	0,004	-0,397	-0,008	0,000	
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.61)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,214	0,212	0,000	0,002	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	-53,532	252,954	391,210	252,954	266,343		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity			
Major Moment	0,019	11,648	11,648	9,878			
Minor Moment	0,004	4,739	4,739				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	2,501	1,132	0,956		1,880	
Minor Moment	1,000	1,000	0,696		0,418		
SHEAR DESIGN							
	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion		
Major Shear	0,397	98,380	0,004	OK	0,000		
Minor Shear	0,008	122,976	6,293E-05	OK	0,000		

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 109 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
109	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	0,76	1,90	0,76	52,70	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,66	0,69	0,66

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

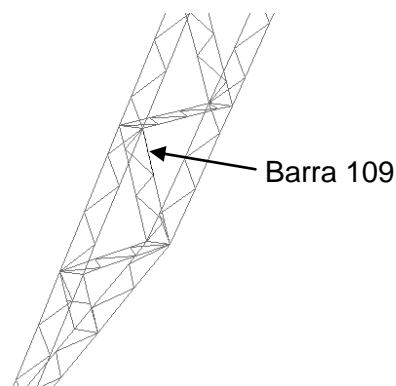
Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,20	0,19	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 109:



Frame : 109	Design Sect: UPN80					
X Mid : 12,807	Design Type: Brace					
Y Mid : -0,440	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 13,485	Sect Class : Class 1					
Length : 0,762	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,000	RLLF : 1,000					
Area : 0,001	SMajor : 2,645E-05	rMajor : 0,031	AUMajor : 4,800E-04			
IMajor : 1,058E-06	SMinor : 6,348E-06	rMinor : 0,013	AUMinor : 6,000E-04			
IMinor : 0,000	ZMajor : 3,281E-05	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,335E-05	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
0,000	-52,718	-0,019	0,005	0,371	0,010	0,000
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (6.61)	Total Ratio 0,210	P Ratio 0,208	MMajor Ratio 0,000	MMinor Ratio 0,002	Ratio Limit 1,000	Status Check OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	-52,718	252,954	391,210	252,954	266,239	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity		
Major Moment	-0,019	11,648	11,648	11,648		
Minor Moment	0,005	4,739	4,739			
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	2,499	1,130	0,956		1,880
Minor Moment	1,000	1,000	0,695		0,417	
SHEAR DESIGN						
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,371	98,380	0,004	OK	0,000	
Minor Shear	0,010	122,976	7,959E-05	OK	0,000	

3.2.4 PÓRTICOS SECUNDÁRIOS CORDÕES INFERIORES

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53407 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53407	J [PN 120]	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	2,34	7,25	2,34	82,36	0,52	1,11	1,72	0,34	1	0,29	0,75	0,29

Rádios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$
0,07	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01

Rádios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,b,Rd}}$	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,24	0,09	0,24	0,75	0,54	0,58	1,01	0,82	0,03	0,26	0,26

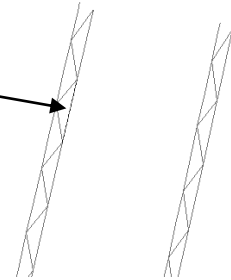
	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,236	0,023	0,004	0,262
(6.62)	0,091	0,017	0,007	0,115

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 53407:

Barra 53407



Frame : 53407	Design Sect: UPN1200					
X Mid : 58,251	Design Type: Brace					
Y Mid : 34,356	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 22,783	Sect Class : Class 1					
Length : 2,338	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 2,338	RLLF : 1,000					
Area : 0,003	SMajor : 1,225E-04	rMajor : 0,046	AUMajor: 0,002			
IMajor : 7,350E-06	SMinor : 1,287E-04	rMinor : 0,060	AUMinor: 0,002			
IMinor : 1,223E-05	ZMajor : 1,463E-04	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,958E-04	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
2,338	-82,358	-0,340	1,718	0,522	-1,111	0,003
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (6.62)	Total Ratio 0,281	P Ratio 0,246	MMajor Ratio 0,030	MMinor Ratio 0,005	Ratio Limit 1,000	Status Check OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd	
Axial	Force -82,358	Capacity 334,583	Capacity 1209,840	Major Capacity 1209,840	Minor Capacity 334,583	
MOMENT DESIGN						
	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd		
Major Moment	-0,340	Capacity 51,938	Capacity 51,938	Capacity 51,938		
Minor Moment	1,718	Capacity 69,498	Capacity 69,498			
	K	L	k	kzy	kyz	C1
Major Moment	Factor 1,000	Factor 1,000	Factor 0,919	Factor 0,967	Factor	Factor 1,000
Minor Moment	1,000	3,109	1,197		0,718	
SHEAR DESIGN						
	Ued	Uc,Rd	Stress	Status	Ted	
Major Shear	Force 0,522	Capacity 344,332	Ratio 0,002	Check OK	Torsion 0,000	
Minor Shear	1,111	405,820	0,003	OK	0,000	

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53439 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53439	] [PN 120	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	2,34	7,25	2,34	274,90	0,85	1,84	7,22	0,98	1	0,29	0,75	0,29

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,23	0,00	0,00	0,10	0,02	0,10	0,02	0,02	

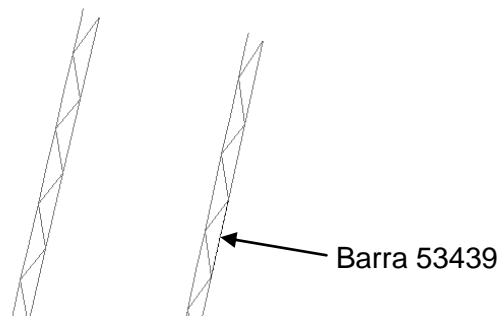
Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,79	0,30	0,79	1,49	0,47	1,97	1,08	0,71	0,15	1,01	1,01

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio M _y	Rácio M _z	Rácio Total
(6.61)	0,787	0,218	0,009	1,013
(6.62)	0,303	0,289	0,020	0,613

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 53439:



Frame : 53439	Design Sect: UPN1200						
X Mid : 52,751	Design Type: Brace						
Y Mid : 35,683	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 20,858	Sect Class : Class 1						
Length : 2,338	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,003	SMajor : 1,225E-04	rMajor : 0,046	AUMajor: 0,002				
IMajor : 7,350E-06	SMinor : 1,287E-04	rMinor : 0,060	AUMinor: 0,002				
IMinor : 1,223E-05	ZMajor : 1,463E-04	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,958E-04	Fy : 355000,000					
DESIGN MESSAGES							
Error: Section overstressed							
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	-274,856	-0,981	-7,222	0,848	-1,838	-0,008	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing	Total	P	MMajor	MMinor	Ratio	Status	
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check	
(6.62)	1,008	0,821	0,172	0,014	1,000	Overstress	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
Axial	-274,856	334,583	1209,840	895,239	334,583		
MOMENT DESIGN							
	Med	Mc,Rd	Mu,Rd	Mb,Rd			
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Major Moment	-0,981	51,938	51,938	51,938			
Minor Moment	-7,222	69,498	69,498				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	1,000	1,000	0,880	0,890		1,000	
Minor Moment	1,000	3,109	1,657		0,994		
SHEAR DESIGN							
	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted		
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion		
Major Shear	0,848	344,332	0,002	OK	0,000		
Minor Shear	1,838	405,820	0,005	OK	0,000		

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53440 (Coluna-Viga) (Excel):

Combinação: ELUWT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{yp} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zp} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53440	] [PN 120	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	2,34	7,25	2,34	172,20	0,80	1,38	2,95	0,44	1	0,29	0,75	0,29

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,14	0,00	0,00	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01	

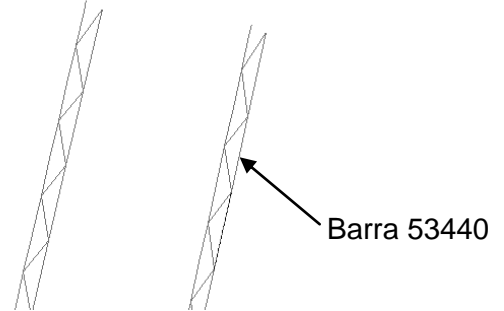
Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,49	0,19	0,49	0,86	0,57	0,80	1,10	0,82	0,05	0,54	0,54

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio M _y	Rácio M _z	Rácio Total
(6.61)	0,493	0,044	0,005	0,542
(6.62)	0,190	0,042	0,009	0,241

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 53440:



Frame : 53440	Design Sect: UPN120D					
X Mid : 52,751	Design Type: Brace					
Y Mid : 34,356	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 22,783	Sect Class : Class 1					
Length : 2,338	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,000	RLLF : 1,000					
Area : 0,003	SMajor : 1,225E-04	rMajor : 0,046	AUMajor: 0,002			
IMajor : 7,350E-06	SMinor : 1,287E-04	rMinor : 0,060	AUMinor: 0,002			
IMinor : 1,223E-05	ZMajor : 1,463E-04	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,958E-04	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
0,000	-172,232	-0,441	-2,951	0,798	-1,383	-0,008
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(6.62)	0,581	0,515	0,060	0,007	1,000	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	-172,232	334,583	1209,840	895,239	334,583	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Hc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity		
Major Moment	-0,441	51,938	51,938	51,938		
Minor Moment	-2,951	69,498	69,498			
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	1,000	0,978	0,931		1,000
Minor Moment	1,000	3,109	1,412		0,847	
SHEAR DESIGN						
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,798	344,332	0,002	OK	0,000	
Minor Shear	1,383	405,820	0,003	OK	0,000	

3.2.5 PÓRTICOS SECUNDÁRIOS CORDÕES SUPERIORES

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53412 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53412	] [PN 120	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	1,17	1,17	2,34	521,70	0,98	6,57	4,37	1,54	1	0,00	0,00	0,00

Rádios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha$	$\left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$
0,43	0,00	0,02	0,06	0,03	0,08	0,03	0,01	

Rádios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,b,Rd}}$	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,07	0,52	0,52

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.2)	0,431	0,063	0,030	0,524

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$



Resultados SAP2000 Barra 53412:

Frame : 53412	Design Sect: UPN1200					
X Mid : 58,251	Design Type: Brace					
Y Mid : 41,649	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 14,320	Sect Class : Class 1					
Length : 1,169	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 1,169	RLLF : 1,000					
Area : 0,003	SMajor : 1,225E-04	rMajor : 0,046	AUMajor: 0,002			
IMajor : 7,350E-06	SMinor : 1,287E-04	rMinor : 0,060	AUMinor: 0,002			
IMinor : 1,223E-05	ZMajor : 1,463E-04	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,958E-04	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
1,169	521,739	-1,540	4,369	0,981	-6,569	1,359E-04
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (6.2.1)	Total Ratio 0,524	P Ratio = 0,431	MMajor Ratio + 0,030	MMinor Ratio + 0,063	Ratio Limit 1,000	Status Check OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	521,739	895,239	1209,840	895,239	1171,863	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity		
Major Moment	-1,540	51,938	51,938	51,938		
Minor Moment	4,369	69,498	69,498			
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	2,000	1,277	0,862		1,084
Minor Moment	1,000	1,000	0,836		0,501	
SHEAR DESIGN						
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,981	344,332	0,003	OK	0,000	
Minor Shear	6,569	405,820	0,016	OK	0,000	

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53413 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	Iy [cm ⁴]	Wy [cm ³]	WypI [cm ³]	Iz [cm ⁴]	Wz [cm ³]	WzpI [cm ³]	IT [cm ⁴]	Iw×10 ⁻³ [cm ⁶]
53413	] [PN 120	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	Nsd [kN]	Vsd,y [kN]	Vsd,z [kN]	Msd,y [kN.m]	Msd,z [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	1,17	1,17	2,34	522,60	0,85	5,10	7,19	1,79	1	0,00	0,00	0,00

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$
0,43	0,00	0,01	0,10	0,03	0,14	0,03	0,02

Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			kyy	kyz	kzy	kzz	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,12	0,57	0,57

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.2)	0,432	0,103	0,034	0,570

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53414 (“Coluna-Viga” em Tracção) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{yp} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zp} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53414	] [PN 120	26,8	34,08	19,8	1222,85	128,72	195,8	735,03	122,5	146,3	7,03	1,7

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	1,17	1,17	2,34	493,60	0,54	8,56	7,11	1,79	1	0,00	0,00	0,00

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,41	0,00	0,02	0,10	0,03	0,13	0,03	0,02	

Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Rácio EQ. 6.2	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,93	0,11	0,54	0,54

Equação 6.2 EC3				
	Rácio N	Rácio M _y	Rácio M _z	Rácio Total
(6.2)	0,408	0,102	0,034	0,545

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$



Resultados SAP2000 Barra 53414:

Frame : 53414	Design Sect: UPM1200					
X Mid : 58,251	Design Type: Brace					
Y Mid : 40,322	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 16,245	Sect Class : Class 1					
Length : 1,169	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,000	RLLF : 1,000					
Area : 0,003	SMajor : 1,225E-04	rMajor : 0,046	AUMajor: 0,002			
IMajor : 7,350E-06	SMinor : 1,287E-04	rMinor : 0,060	AUMinor: 0,002			
IMinor : 1,223E-05	ZMajor : 1,463E-04	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,958E-04	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
0,000	493,637	-1,785	7,113	-0,538	8,561	-3,296E-04
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation (6.2.1)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
	0,545	= 0,408	+ 0,034	+ 0,102	1,000	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	493,637	895,239	1209,840	895,239	1171,863	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mu,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity		
Major Moment	-1,785	51,938	51,938	51,938		
Minor Moment	7,113	69,498	69,498			
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	2,000	1,262	0,862		1,083
Minor Moment	1,000	1,000	0,535		0,321	
SHEAR DESIGN						
	Ued Force	Uc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,538	344,332	0,002	OK	0,000	
Minor Shear	8,561	405,820	0,021	OK	0,000	

3.2.6 PÓRTICOS SECUNDÁRIOS DIAGONAIS

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 52163 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Barra	Perfil	Características Geométricas e Elásticas										
		G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
52163	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	Esforços Actuantes de Cálculo					Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
				N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]				
S 355	1,68	1,68	1,68	67,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,72	0,27	0,72

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$
0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,24	0,64	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 52165 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
52165	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	1,68	1,68	1,68	91,95	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,72	0,27	0,72

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$
0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,33	0,87	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 52184 (Coluna) (Excel):

Combinação: ELUWT+

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w ×10 ⁻³ [cm ⁶]
52184	UPN 80	8,64	11	5,1	106	26,5	31,8	19,4	6,36	12,1	2,16	0,17

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	Lcry [m]	Lcrz [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	Xy	Xz	X _T
S 355	1,68	1,68	1,68	78,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,72	0,27	0,72

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta$	
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

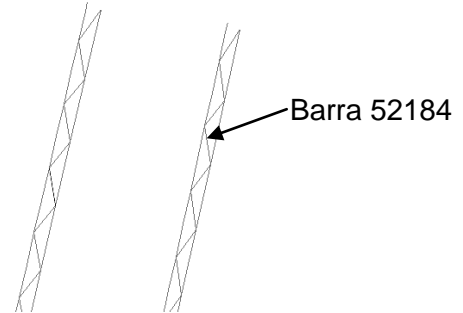
Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,28	0,75	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 52184:



Frame : 52184	Design Sect: UPH80						
X Mid : 52,751	Design Type: Brace						
Y Mid : 35,182	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : 22,642	Sect Class : Class 1						
Length : 1,675	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,837	RLLF : 1,000						
Area : 0,001	SMajor : 2,645E-05	rMajor : 0,031	AUMajor: 4,800E-04				
IMajor : 1,058E-06	SMinor : 6,348E-06	rMinor : 0,013	AUMinor: 6,000E-04				
IMinor : 0,000	ZMajor : 3,281E-05	E : 199947978,80					
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,335E-05	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,837	-78,474	0,000	-0,008	-0,011	0,437	0,000	
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
(6.62)	0,776	= 0,773	+ 0,003	+ 0,000	1,000	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
Axial	-78,474	101,525	391,210	277,461	101,525		
MOMENT DESIGN							
	Med	Hc,Rd	Mu,Rd	Mb,Rd			
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Major Moment	0,000	11,648	11,648	6,213			
Minor Moment	-0,008	4,739	4,739				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Major Moment	1,000	1,000	1,148	0,897		1,000	
Minor Moment	1,000	1,000	1,618		0,971		
SHEAR DESIGN							
	Ued	Uc,Rd	Stress	Status	Ted		
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion		
Major Shear	0,011	98,380	0,000	OK	0,000		
Minor Shear	0,437	122,976	0,004	OK	0,000		

3.2.7 MADRES

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 52999 (Viga) (Excel):

Combinação: ELUSCT-

Barra	Perfil	Características Geométricas e Elásticas										
		G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
52999	IPE 140	12,9	16,43	7,64	541,2	77,32	88,34	44,92	12,31	19,25	2,45	1,98

Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	Esforços Actuantes de Cálculo					Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
				N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]				
S 355	4,70	4,70	4,70	0,00	0,00	0,00	2,30	4,20	1	0,00	0,00	0,00

Rácios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo							
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$
0,00	0,00	0,00	0,07	0,61	0,07	0,61	0,62

Rácios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,25	0,00	0,62

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 53019 (Viga) (Excel):

Combinação: ELUSCT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	Avz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{yp} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zp} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
53019	IPE 140	12,9	16,43	7,64	541,2	77,32	88,34	44,92	12,31	19,25	2,45	1,98

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cr,y} [m]	L _{cr,z} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	3,53	3,53	3,53	0,00	0,00	0,00	2,38	2,49	1	0,00	0,00	0,00

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,00	0,00	0,00	0,08	0,36	0,08	0,36	0,37	

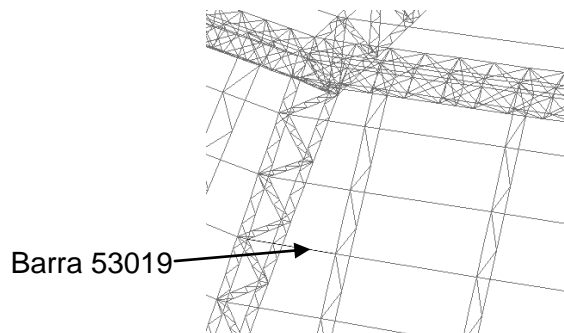
Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,19	0,00	0,37

	Flexão Composta Com Compr.			
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.62)$$

Resultados SAP2000 Barra 53019:



Frame : 53019	Design Sect: IPE140					
X Mid : 60,016	Design Type: Beam					
Y Mid : 36,668	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 21,544	Sect Class : Class 1					
Length : 3,530	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 1,765	RLLF : 1,000					
Area : 0,002	SMajor : 7,729E-05	rMajor : 0,057	AUMajor: 6,580E-04			
IMajor : 5,410E-06	SMinor : 1,230E-05	rMinor : 0,017	AUMinor: 8,395E-04			
IMinor : 0,000	ZMajor : 8,830E-05	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	ZMinor : 1,920E-05	Fy : 355000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	U2	U3	T
1,765	-0,011	-2,380	-2,488	0,000	0,000	0,000
PHM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing Equation	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
(6.2)	0,441	= 0,000	+ 0,076	+ 0,365	1,000	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor	
Axial	-0,011	582,200	582,200	582,200	582,200	
MOMENT DESIGN						
	Med Moment	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity		
Major Moment	-2,380	31,347	31,347	31,347		
Minor Moment	-2,488	6,816	6,816			
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor
Major Moment	1,000	1,000	1,000	1,000		1,000
Minor Moment	1,000	1,000	1,000		0,600	
SHEAR DESIGN						
	Ved Force	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check	Ted Torsion	
Major Shear	0,000	134,863	0,000	OK	0,000	
Minor Shear	0,000	172,063	0,000	OK	0,000	

Resultados da Tabela de Cálculo Barra 54730 (Viga) (Excel):

Combinação: ELUSCT-

Características Geométricas e Elásticas												
Barra	Perfil	G [kg/m]	A [cm ²]	AVz [cm ²]	I _y [cm ⁴]	W _y [cm ³]	W _{ypl} [cm ³]	I _z [cm ⁴]	W _z [cm ³]	W _{zpl} [cm ³]	I _T [cm ⁴]	I _w × 10 ⁻³ [cm ⁶]
54730	IPE 140	12,9	16,43	7,64	541,2	77,32	88,34	44,92	12,31	19,25	2,45	1,98

Esforços Actuantes de Cálculo												
Aço	L [m]	L _{cry} [m]	L _{crz} [m]	N _{sd} [kN]	V _{sd,y} [kN]	V _{sd,z} [kN]	M _{sd,y} [kN.m]	M _{sd,z} [kN.m]	Classe do Perfil	X _y	X _z	X _T
S 355	4,70	4,70	4,70	0,00	0,00	0,00	0,31	4,21	1	0,00	0,00	0,00

Rátios de Dimensionamento da Secção Transversal Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo								
$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$	$\frac{V_{y,Ed}}{V_{y,c,Rd}}$	$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,c,Rd}}$	$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,c,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,c,Rd}}$	Flexão Composta		Flexão Desviada	
					$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}$	$\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$	$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$	
0,00	0,00	0,00	0,01	0,62	0,01	0,62	0,62	

Rátios de Dimensionamento Correspondentes aos Esforços Máximos de Cálculo de Encurvadura										
Encurv. Elementos Compr.			k _{yy}	k _{yz}	k _{zy}	k _{zz}	X _{LT}	Enc. Elem. Em Flexão	Flexão Composta Com Compr.	Rácio Final
Por Flexão		Por Torção								
$\frac{N_{Ed}}{N_{y,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{z,b,Rd}}$	$\frac{N_{Ed}}{N_{T,b,Rd}}$								
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,03	0,00	0,62

Flexão Composta Com Compr.				
	Rácio N	Rácio My	Rácio Mz	Rácio Total
(6.61)	0,000	0,000	0,000	0,000
(6.62)	0,000	0,000	0,000	0,000

3.3 VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES SEGUNDO A NP EN 1993-1-8 (TABELA DE CÁLCULO EXCEL)

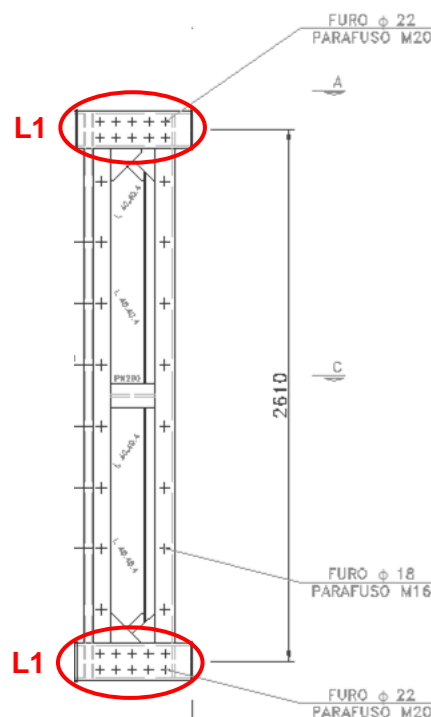
Ligação Arco Meridiano – Anel de Fecho L1 (valores por parafuso):

$F_{v,Ed}$	46,00	kN
$F_{t,Ed}$	32,00	kN
Métrica	M20	
Classe	10.9	
Plano Corte	NR	
Elem. Ligação	S355	

R - Roscada NR – Não Roscada

Resistência ao escorregamento por parafuso:

k_s	1,00	
n	1	
μ	0,4	
$F_{p,C}$	172	kN
γ_{M3}	1,25	
$F_{s,Rd}$	46,69	kN



Resistência ao esmagamento por parafuso:

k_1	2,50	
α_b	0,77	
f_u	510	N/mm ²
d	20	mm
t	20	mm
γ_{M2}	1,25	
$F_{b,Rd}$	315,27	kN

Disposição dos furos

direcção de transmissão dos esforços			Mín	Máx	
e_1	51	mm	OK	26,4	120
p_1	78	mm	OK	48,4	200
d_o	22	mm			
perpendicularmente à direcção de transmissão dos esforços					
e_2	40	mm	OK	26,4	120
p_2	80	mm	OK	52,8	200

Resumo:

Resistência ao escorregamento

46,00	<	46,69	VERIFICA
-------	---	-------	----------

Resistência ao esmagamento

46,00	<	315,27	VERIFICA
-------	---	--------	----------

Ligação Arco Meridiano – Anel de Fecho L2 (valores por parafuso):

$F_{v,Ed}$	20,00	kN
$F_{t,Ed}$	5,40	kN
Métrica	M16	
Classe	10.9	
Plano Corte	NR	
Elem. Ligação	S355	

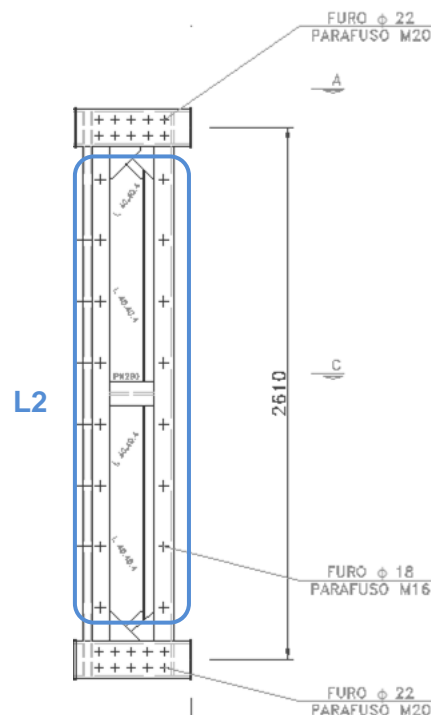
R - Roscada NR - Não Roscada

Resistência ao escorregamento por parafuso:

k_s	1,00	
n	1	
μ	0,4	
$F_{p,C}$	110	kN
γ_{M3}	1,25	
$F_{s,Rd}$	33,79	kN

Resistência ao esmagamento por parafuso:

k_1	2,50	
α_b	1,00	
f_u	510	N/mm ²
d	16	mm
t	11	mm
γ_{M2}	1,25	
$F_{b,Rd}$	179,52	kN



Resumo:

Resistência ao escorregamento

20,00	<	33,79	VERIFICA
-------	---	-------	----------

Resistência ao esmagamento

20,00	<	179,52	VERIFICA
-------	---	--------	----------

Ligação Pórtico Secundário – Viga Triangulada (valores por parafuso):

$F_{v,Ed}$	8,50	kN
$F_{t,Ed}$	41,00	kN
Métrica	M20	
Classe	10.9	
Plano Corte	NR	
Elem. Ligação	S355	

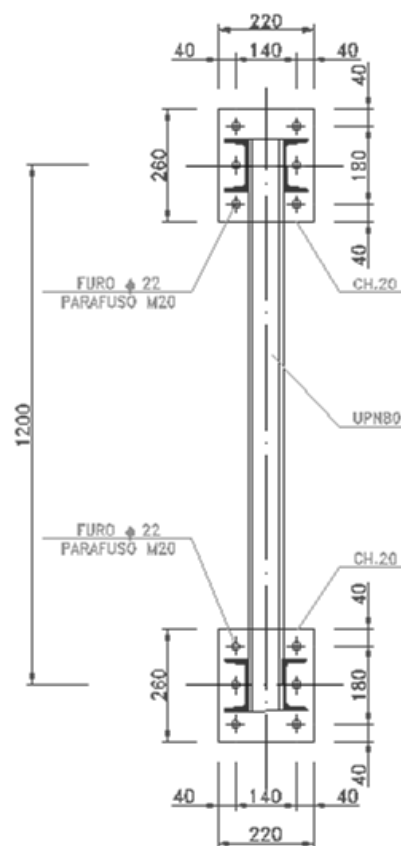
R - Roscada NR - Não Roscada

Resistência ao escorregamento por parafuso:

k_s	1,00	
n	1	
μ	0,4	
$F_{p,C}$	172	kN
γ_{M3}	1,25	
$F_{s,Rd}$	44,38	kN

Resistência ao esmagamento por parafuso:

k_1	2,50	
α_b	0,61	
f_u	510	N/mm ²
d	20	mm
t	20	mm
γ_{M2}	1,25	
$F_{b,Rd}$	247,27	kN



Disposição dos furos

direcção de transmissão dos esforços			Mín	Máx	
e_1	40	mm	OK	26,4	120
p_1	90	mm	OK	48,4	200
d_0	22	mm			
perpendicularmente à direcção de transmissão dos esforços					
e_2	40	mm	OK	26,4	120
p_2	140	mm	OK	52,8	200

Resumo:

Resistência ao escorregamento

8,50	<	44,38	VERIFICA
------	---	-------	----------

Resistência ao esmagamento

8,50	<	247,27	VERIFICA
------	---	--------	----------

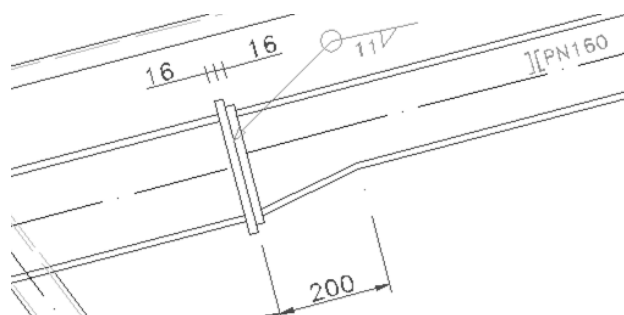
Ligação Arco Meridiano UPN200 – UPN160:

Resistência de um cordão de ângulo:

$F_{w,Ed}$	185,00	kN
Classe	S355	

a	11	mm
l_{eff}	630	mm
f_u	510	N/mm ²
β_w	0,90	
γ_{M2}	1,25	

$F_{w,Rd}$	1813,80	kN
Rácio	0,10	VERIFICA



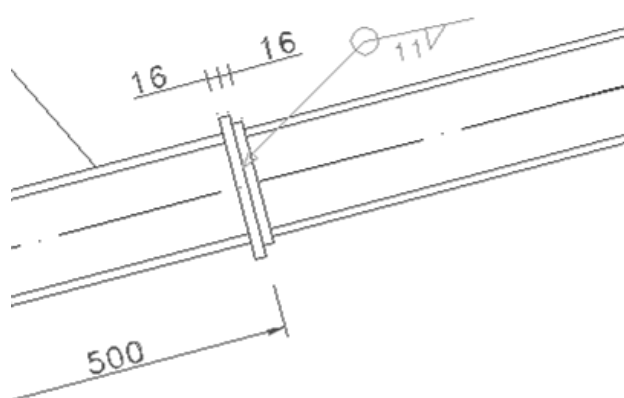
Ligação Arco Meridiano UPN160 – UPN160:

Resistência de um cordão de ângulo:

$F_{w,Ed}$	176,00	kN
Classe	S355	

a	11	mm
l_{eff}	530	mm
f_u	510	N/mm ²
β_w	0,90	
γ_{M2}	1,25	

$F_{w,Rd}$	1525,90	kN
Rácio	0,12	VERIFICA



3.4 VERIFICAÇÃO E.L.Ut. SEGUNDO A NP EN 1993-1-1

Para as combinações de acções relativas aos Estados Limites de Utilização obteve-se os seguintes deslocamentos máximos:

U1 = .0392
 U2 = -.0026
 U3 = .0296
 R1 = -.00029
 R2 = -.00295
 R3 = .00011

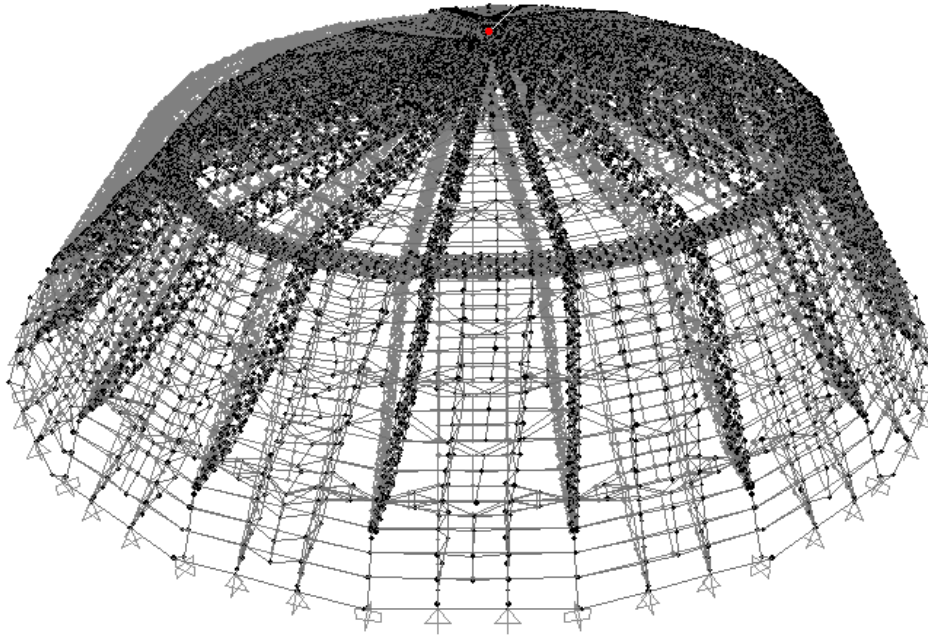


Figura 3.17 – Deslocamentos obtidos E.L.Utilização.

Deslocamento vertical:

$$\delta = 0,030 \text{ m} < L / 250 = 90 / 250 = 0,36 \text{ m}$$

Deslocamento horizontal:

$$\delta = 0,039 \text{ m} < h / 300 = 30 / 300 = 0,1 \text{ m}$$

Sendo portanto inferiores às deformações limite consideram-se verificados os estados limites de utilização para o pórtico plano.

A – PEÇAS ESCRITAS
IV – CONDIÇÕES TÉCNICAS

A - ESTRUTURAS METÁLICAS

B - AÇO PARA ESTRUTURAS METÁLICAS

C - PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

D - PROTECÇÃO E PINTURA DE ESTRUTURAS METÁLICAS

E - CHAPA DE AÇO GALVANIZADA E PRÉ-LACADA NO REVESTIMENTO DE COBERTURAS

F - CHAPA DE ZINCO EM REMATES DE COBERTURA

G - MATERIAIS NÃO ESPECIFICADOS

H - TRABALHOS NÃO ESPECIFICADOS

A - ESTRUTURAS METÁLICAS

Encontram-se compreendidos neste artigo os trabalhos de fabricação e montagem das estruturas metálicas:

a) FABRICAÇÃO

1. - Todas as peças serão fabricadas com as dimensões previstas nos desenhos e com as furações e acessórios soldados para a sua conveniente ligação.
2. - A fabricação da estrutura será executada empregando escantilhões apropriados para assegurar a exactidão das ligações e a intermutabilidade das partes similares.

Serão pré-montadas em gravidade zero na oficina diversas partes da estrutura antes da expedição para o local, levando-se a montagem até ao ponto suficiente para que possa apreciar-se a exactidão dos escantilhões e a perfeição da mão-de-obra.
3. - Todas as peças deverão ser convenientemente marcadas em oficina de modo a que não levantem dúvidas na montagem quanto à posição que ocupam.
4. - As operações de fabrico e montagem serão conduzidas de modo a que as peças não sofram deformações permanentes nem sejam submetidas a esforços secundários significativos.
5. - Todos os cortes serão convenientemente rebarbados.
6. - A traçagem e furação das diferentes peças devem ser feitas de forma a obter-se perfeita coincidência dos furos destinados ao mesmo parafuso.

A furação deve ser feita à broca quando possível efectuar simultaneamente os furos das diferentes peças a ligar. Neste caso haverá o cuidado de evitar folgas e desaprumo dos furos.

Quando não for possível fazer furação simultânea, far-se-á uma furação prévia, a saca-bocados ou broca, com um diâmetro inferior em 3 milímetros ao diâmetro final, sendo, depois das peças ligadas com parafusos de montagem, os furos mandrilados até ao diâmetro desejado.

O diâmetro dos furos será em regra superior 1 milímetro ao diâmetro dos parafusos nas ligações com parafusos de qualidade 4.6 e 2 milímetros nas ligações de alta resistência.

7. - A preparação das ligações principais (todas aquelas onde se especifica parafusos de qualidade 10.9) deverá ser executadas em oficina de acordo com a Especificação Técnica "Colocação de Parafuso de Alta Resistência".
8. - Nas ligações em que se empregar a soldadura, usar-se-á o processo de arco-eléctrico.
9. - Poderão ser realizados ensaios de recepção dos eléctrodos, em Laboratório Oficial, correndo as despesas por conta do adjudicatário.
- 10.- Durante a fabricação poderão ser executados regularmente ensaios de resistência das soldaduras, cujas despesas por conta do adjudicatário.

Em todos os provetes submetidos a ensaios será marcado o nome do soldador. Do resultado dos ensaios poderá resultar não só a rejeição das peças donde foram cortados os provetes, mas também a reprovação do soldador que as executou.
- 11.- Em todas as peças que a Fiscalização exigir, será feito o controlo completo das soldaduras por processos não destrutivos, com o exame por raios X, raios ou ultra-sons.

b) MONTAGEM

1. - A pormenorização da implantação das estruturas será feita com o maior rigor pelo adjudicatário que se obriga a empregar marcas apropriadas ao rigor exigido, a

conservá-las convenientemente e a substituir as que por qualquer motivo desapareçam.

2. - Antes de iniciar a montagem, o adjudicatário verificará a implantação e os níveis de todos os maciços de fundações.
3. - O adjudicatário deverá empregar na montagem os meios mecânicos adequados à fácil elevação e colocação nas suas posições dos elementos da estrutura, sem que os mesmos sejam submetidos a solicitações exageradas.
4. - A tolerância na implantação dos eixos dos Arcos Meridianos será de 2 milímetros. A verificação dum afastamento das suas posições finais superior à tolerância indicada obrigará a todo o tempo, à conveniente rectificação.
5. - A sequência de montagem dos diversos elementos da estrutura deverá ser estudada de modo a garantir a estabilidade das partes já montadas. Se necessário o adjudicatário deverá prever meios de contraventamento temporários em número suficiente para assegurar a estabilidade das estruturas até ao seu acabamento.
6. - Os erros de montagem não poderão ser corrigidos por calor. Antes de corrigir os erros de montagem, será necessária a respectiva autorização da Fiscalização.
7. - As ligações principais (todas aquelas onde se especifica parafusos de qualidade 10.9) são do tipo ligações de alta resistência devendo ser respeitadas na fase de montagem as orientações fornecidas na Especificação Técnica "Colocação de Parafusos de Alta Resistência".

B - AÇO PARA ESTRUTURAS METÁLICAS

1. - Os perfis e chapas a fornecer serão de qualidade S355.

2. - Os parafusos, porcas e anilhas a empregar nas ligações secundárias são da qualidade 4.6 segundo DIN 267 e com as dimensões conforme as normas seguintes:
 - Parafusos DIN 7990
 - Porcas DIN 555
 - Anilhas DIN 7989

3. - Os parafusos, porcas e anilhas a empregar nas ligações principais são do tipo 10.9 segundo DIN 267 e com as dimensões conforme as normas seguintes:
 - Parafusos DIN 6914
 - Porcas DIN 6915
 - Anilhas DIN 6916

4. - Os parafusos a empregar nas ligações com buchas metálicas serão de qualidade 4.6 segundo DIN 267 e com as dimensões especificadas na norma DIN 558.

5. - O material de adição para soldadura terá revestimento básico e deverá apresentar características compatíveis com o metal de base e resistência à tracção superior à deste.

As características mecânicas do metal de adição, depois de depositado, devem satisfazer o disposto na NP EN 1993-1-8 Projecto de Estruturas de Aço – Projecto de Ligações.

C - PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Normas para a colocação de parafusos de alta resistência:

1. - PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES DE ATRITO

1.1. A preparação das superfícies de atrito é efectuada na fábrica ou no estaleiro, por decapagem a jacto de areia (quartzo cristalino, seco, tamanho de grão 0,7/1.2mm, projectado a 7 bar) ou a grenalha de ferro (hematite tratada de arestas vivas com dureza HV1 entre 6850 e 7850 N/mm² e pelo menos 75% dos grãos, de tamanho compreendido entre 0,3 e 0,5mm.

1.2. A verificação do estado de preparação será feita pela Fiscalização que deverá verificar também que os furos foram desbastados com a fresa.

1.3. A pedido da Fiscalização poderão ser exigidas ao Adjudicatário seis amostras destinadas a verificar o coeficiente de deslizamento e que são preparadas simultaneamente com elementos correspondentes da obra.

O fiscal assiste ao aperto dos parafusos, o qual será efectuado por duas vezes (a 70% e depois a 100% do momento do aperto) e verifica os momentos aplicados. As amostras serão ensaiadas à tracção pelo menos 3 dias depois do aperto.

1.4. No estaleiro, as superfícies em contacto são limpas de poeiras e da flor da ferrugem, com uma escova metálica macia. O emprego de escovas rotativas é proibido. A acção da escova não deve diminuir a rugosidade.

Não é necessário fazer desaparecer a cor da ferrugem. Por outro lado, as superfícies devem estar isentas de óleo, de tinta ou de outras substâncias susceptíveis de reduzir o coeficiente de deslizamento.

2. - ARMAZENAMENTO DOS PARAFUSOS

2.1. Os parafusos são armazenados ao abrigo das intempéries.

- 2.2. Os parafusos necessários às ligações a fazer de momento são colocados em caixas que possam ser fechadas no caso de chover.

3. - LIGAÇÃO DE PEÇAS

- 3.1. As superfícies a ligar são secas à chama
- 3.2. Os parafusos devem ser limpos antes de colocados, para eliminar o excesso de lubrificante. As peças são mantidas em posição por parafusos de montagem e parafusos de alta resistência ligeiramente apertados, de tal maneira que se obtenha a coincidência dos furos.

4. - COLOCAÇÃO DOS PARAFUSOS EM OBRA

Depois da verificação do ajustamento das peças a ligar, será colocada a totalidade dos parafusos de alta resistência da ligação e apertados a 70% do momento do aperto definitivo (ver quadro I).

O empreiteiro assegura-se que todos os parafusos estão apertados a 70% marcando-os a giz, por exemplo.

O aperto dos parafusos será efectuado com chave de choque ou com chave dinamométrica.

O encosto das superfícies em contacto será verificado visualmente, na periferia e nos furos de ligação.

Em caso de necessidades, um aperto suplementar será aplicado aos parafusos nas zonas onde o encosto pareça duvidoso.

5. - ESTANQUEIDADE DAS JUNTAS

A ligação será protegida contra a humidade pela aplicação de uma camada de mínimo de chumbo consistente em toda a periferia das juntas, das porcas, das anilhas e da cabeça dos parafusos, ou de mástique de mínimo nas ranhuras onde a água se possa acumular.

6. - PROTECÇÃO DAS JUNTAS DURANTE A MONTAGEM

A fim de evitar a entrada de água nas juntas, as operações referidas nas alíneas 3, 4 e 5 devem ser efectuadas no mesmo dia, se possível.

No caso de intempérie (chuva, por exemplo), se todas as operações não poderem ser terminadas no mesmo dia, o local de trabalho deverá ser convenientemente protegido.

7. - APERTO DEFINITIVO DOS PARAFUSOS

7.1. O aperto definitivo (a 100%) duma união não será realizado, com a presença do fiscal, enquanto todos os parafusos da união não estiverem colocados e apertados a 70%.

Os apertos a 70% e a 100% são realizados obrigatoriamente com o mesmo tipo de chave, seja a chave de choque, seja a chave dinamométrica.

7.2. Os parafusos serão apertados sempre pela mesma ordem. O aperto começará pelos parafusos centrais e será executado no sentido dos ponteiros do relógio.

O empreiteiro assegura-se, por marca a giz, de que todos os parafusos estão apertados a 100%.

7.3. Na medida do possível, as uniões do mesmo tipo serão apertadas pela mesma equipa, com a mesma chave, para o mesmo diâmetro de parafuso.

Os parafusos de diâmetro diferente serão apertados com o auxílio de uma outra chave.

7.4. Quando o aperto é realizado com uma chave dinamométrica, é efectuado progressivamente, sem pancadas e sem retrocesso.

8. - REGULARIZAÇÃO DAS CHAVES DE CHOQUE

8.1. A regularização das chaves de choque é efectuada pelo empreiteiro, com a presença do fiscal, apertando alguns parafusos directamente nas uniões das peças.

8.2. O empreiteiro assegura-se do bom funcionamento da chave de choque, efectuando em cada recomeço de serviço (em principio duas vezes por dia) a verificação da regularização por ocasião dos primeiros apertos.

A regularização é corrigida, se necessário por tentativas, e considera-se em condições se obtém bom resultado sobre uma série de 30 parafusos.

8.3. O processo de verificação do aperto é o seguinte:

8.3.1 - Marcação da posição inicial da porca e da cabeça do parafuso (referência em relação a uma aresta da porca).

8.3.2 - Desaperto da porca de $1/12$ de volta, mantendo imóvel a cabeça do parafuso.

8.3.3 - Aplicação do momento de aperto (Quadro I) com chave dinamométrica, correctamente aferida, mantendo a cabeça do parafuso imóvel e fazendo aperto progressivamente, sem pancadas e sem retrocesso.

8.3.4 - Verificação da não rotação da cabeça do parafuso.

8.3.5 - Comparação da posição da paragem da porca com a posição inicial.

O aperto considera-se correcto quando a aresta da porca se imobiliza numa zona compreendida entre 8mm antes e 1mm depois da referência inicial feita na anilha.

No entanto se a porca se imobiliza antes da sua posição inicial, deverá ser levada a esta posição por um aperto suplementar.

9. - CONTROLO DO APERTO

- 9.1. O controlo do aperto dos parafusos é efectuado pelo empreiteiro, aplicando o processo indicado em 8.3, pelo menos 3 dias após a sua realização.

O controlo é efectuado com chave de choque ou chave dinamométrica.

- 9.2. Quando a deficiência de aperto de um parafuso é detectada, verificam-se os parafusos vizinhos. No caso de deficiência, sistemática, reapertam-se todos os parafusos da união, mantendo fixas as cabeças.

Se o aperto é realizado com chave de choque, verifica-se previamente a sua aferição.

Se o aperto é feito com chave dinamométrica, deverá ser precedido de um pequeno desaperto da porca.

- 9.3. Quando se procede ao controlo, no caso da porca se imobilizar antes da posição inicial de referência, conduzi-la a esta posição por um aperto suplementar.

QUADRO I

VALORES MÍNIMOS DOS MOMENTOS DE APERTO.

Diâmetro (mm)	Parafusos 8.8		Parafusos 10.9	
	Aperto 70% (Kgf.m)	Aperto 100% (Kgf.m)	Aperto 70% (Kgf.m)	Aperto 100% (Kgf.m)
12	6.2	8.9	8.7	12.5
16	15.5	22	21.8	31
20	30	43	43	61
24	52	75	74	105
27	75	108	106	152
30	104	149	147	210

D - PROTECÇÃO E PINTURA DE ESTRUTURAS METÁLICAS

1. - A presente especificação estabelece as condições técnicas gerais a que devem satisfazer os materiais de execução dos trabalhos de pintura sobre as superfícies metálicas, quer em oficina, quer na obra e, ainda, as repinturas parciais ou totais, incluindo, em qualquer caso, o trabalho de preparação das superfícies a pintar.

2. - DEFINIÇÕES

2.1. Trabalhos de pintura

Por trabalhos de pintura, entende-se a série de operações que incluem a preparação das superfícies, o seu pré-tratamento e a aplicação das tintas.

Também se inclui sob esta designação o fornecimento de todos os materiais, equipamento (abrangendo o próprio equipamento de protecção e segurança do pessoal) e a mão-de-obra necessários à realização desses trabalhos.

2.2. Pintura em oficina

As pinturas realizadas no local da montagem e fora do local desta.

2.3. Pinturas na obra

As pinturas realizadas no local da montagem, antes ou depois desta.

2.4 - Repinturas

As pinturas realizadas em objectos já anteriormente pintados e após terem entrado em serviço.

3. - ARMAZENAGEM DE TINTAS

Todas as tintas e diluentes deverão ser armazenados em locais bem ventilados e protegidos de faíscas, chamas, acção directa dos raios solares e do calor excessivo.

Sempre que seja possível, as tintas e os diluentes deverão ser armazenadas, quando necessário, em compartimentos aquecidos.

3.1. Todas as embalagens deverão ser conservadas por abrir até à sua utilização.

As embalagens que já tenham sido abertas deverão ser usadas em primeiro lugar.

3.2. No caso de uma embalagem com tinta ficar quase vazia, deve mudar-se o seu conteúdo para outro recipiente mais pequeno, pois um volume de ar relativamente grande dentro da embalagem ocasionará a perda de qualidade da tinta e, portanto, interdição do seu emprego.

3.3. Na armazenagem das tintas, o empilhamento das latas deverá ser efectuado de modo a tornar sempre possível utilizar em primeiro lugar as tintas mais antigas e não as das remessas recentemente chegadas.

3.4. As diferentes qualidades de materiais serão arrumadas em lotes separados e perfeitamente identificáveis.

3.5. Todas as embalagens de tinta deverão estar convenientemente rotuladas de modo a poderem ler-se claramente, durante todo o tempo de utilização, os elementos originários do Fabricante, como sejam a identificação da tinta e outras identificações eventuais, relativas, por exemplo, aos números de série, data de fabrico, instruções especiais de aplicação, etc..

3.6. O empreiteiro terá que ter sempre em depósito as quantidades de materiais necessárias para garantir o andamento normal dos trabalhos.

4. - DILUIÇÕES E MISTURAS

- 4.1. Sempre que se forme uma película sobre a tinta, dever-se-á removê-la com cuidado, de modo a sair inteira, devendo para isso previamente cortada junta à parede da embalagem.

Depois de cortada a película, deve-se mexer a tinta para desfazer completamente o "depósito" de pigmentos que possa existir.

Se a película formada for suficientemente espessa para afectar a composição da tinta, então a embalagem não poderá ser utilizada.

- 4.2. Durante a aplicação, a tinta terá de se apresentar sempre no interior da embalagem com um aspecto uniforme, devendo por isso ser agitada vigorosamente antes e ao longo da aplicação.

- 4.3. Sempre que se proceder à diluição das tintas, terão que ser respeitadas as proporções indicadas pelo fabricante para cada tipo de tinta.

O tipo de diluente a adicionar terá que ser o especificado pelo Fabricante das tintas, pois depende da formulação desta.

- 4.4. Nunca se poderão adicionar quaisquer produtos às tintas sem o conhecimento e aprovação da Fiscalização.

5. - PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

- 5.1. A preparação da superfície será especificada com um grau de preparação conforme as normas americanas do "Steel Structures Painting Council" ou dos "Standards Visuais Suecos SIS 055900 -1967", cujas equivalências se dão a seguir:

Graus de Preparação	SSPC	SIS 055900 - 67
Limpeza de solventes	SP - 1 - 63	
Escovagem manual	SP - 2 - 63	ST 2
" c/ ferramentas	SP - 3 - 63	ST 3
Jacto abrasivo a metal branco	SP - 5 - 63	SA 3
" " comercial	SP - 6 - 63	SA 2
Graus de Preparação	SSPG	SIS 055900 - 67
Jacto abrasivo de passagem rápida	SP - 7 - 63	SA 1
Jacto abrasivo a quase metal branco	SP - 10- 63	SA 2,5

- 5.2. Óleos, gorduras, terras, pó ou qualquer outro material estranhos, que por qualquer motivo se tenham depositado na superfície a pintar, terão que ser completamente removidos antes da aplicação da tinta.
- 5.3. As pinturas terão que ser programadas de modo a evitar que poeiras ou qualquer outro corpo estranhos possam vir a depositasse sobre superfícies com tinta ainda húmida.
- 5.4. Na limpeza a jacto abrasivo, qualquer que seja o grau definido (conforme especificação indicada em 5.1), ter-se-á que ter em conta o seguinte:
- a) Todo o trabalho de decapagem de uma determinada superfície terá que ser realizado até ao pôr-do-sol, incluindo a aplicação da primeira demão de primário.

Contudo, sujeito a aprovação da Fiscalização, o Empreiteiro pode realizar uma primeira decapagem grosseira durante a noite e, na manhã seguinte, completar a operação com a decapagem final.

- b) A decapagem de uma determinada superfície só poderá ser aceite desde que tenha sido realizada em condição de humidade relativa do ambiente inferior a 85% e de temperatura da superfície da chapa a decapar superior à temperatura do termómetro húmido adicionada de 3°C.
- c) Antes de se iniciar a operação de decapagem, terão que se retirar das superfícies a decapar todos os depósitos de óleos ou gorduras por meio de solventes apropriados.

Se após a decapagem, surgirem zonas gordurosas, estas serão limpas com solventes adequados e novamente decapadas.

d) Deve deixar-se sempre uma faixa decapada e por pintar entre a zona já decapada e pintada e a zona não decapada. Esta exigência destina-se a evitar a incidência do abrasivo sobre tinta recentemente aplicada.

6. - APLICAÇÃO DA TINTA

6.1. Modos de aplicação

Os processos de aplicação das tintas terão que estar sempre de acordo com os indicados pelo Fabricante, pois, da utilização de um processo errado de aplicação, poderão resultar graves danos no sistema de pinturas afectadas.

O empreiteiro terá que utilizar sempre os processos de pintura que indicou na sua proposta.

Sejam quais forem os materiais a aplicar ou o seu modo de emprego, nunca se deverão aplicar camadas excessivamente espessas, pois estas originam escorrimentos nas superfícies inclinadas e formam rugosidades nas superfícies horizontais, causando em qualquer dos casos, um aspecto deficiente que será motivo de rejeição das pinturas que se apresentem com esses defeitos.

6.2. Temperatura e humidade ambientes

A temperatura ambiente, a temperatura do metal e a humidade relativa devem ser cuidadosamente controladas antes de se iniciarem as operações de pintura.

A temperatura do suporte nunca deverá exceder os valores para os quais comecem a aparecer fenómenos de empolamento ou outros menos aparentes que têm como resultado a diminuição da espessura da película de tinta. Este valor não deverá exceder 30 °C.

Salvo acordo específico com o Fabricante de tintas, a temperatura ambiente mínima será de 5°C e a temperatura do suporte será de 3°C.

A humidade relativa não deverá exceder os 85%.

Haverá um especial cuidado com as tintas quimicamente curadas (por exemplo tintas epóxicas) que são mais sensíveis às baixas temperaturas e a teores de humidade relativa superior a 80%.

Estes valores são orientativos e só funcionarão no caso de não haver acordo com o Fabricante de tintas, que deverá portanto indicar sempre os valores limites respeitantes a cada tipo de tintas.

6.3. Tempos de secagem entre demãos

Os tempos de secagem mínimos e máximo dum determinada demão de tinta, com vista à aplicação da demão seguinte, serão os indicados pelo Fabricante.

Sempre que seja ultrapassado o tempo de secagem máximo estabelecido, a Fiscalização terá que ser consultada antes da aplicação da nova demão seguinte, para que esta fique com perfeita aderência à anterior.

6.4. Cores contrastantes entre demãos sucessivas

Sempre que sejam aplicadas sucessivas demãos da mesma tinta, ou de tintas diferentes, não poderão ser da mesma cor duas camadas sucessivas.

Se proceder à adição de um produto adequado, este terá que ser indicado e fornecido pelo Fabricante.

6.5. Continuidade do filme de tinta

Cada demão de tinta deve ser aplicada de modo a obter-se um filme contínuo e de espessura uniforme, sem porosidades nem desigualdades de aspecto.

Deverá haver especial cuidado em evitar que as tintas engrossem nas depressões, curvas ou reentrâncias, ou que tenham tendência a fugir das arestas, deixando películas excessivamente finas.

6.6. Espessura de película de tinta

As espessuras por demão e as espessuras finais a obter pelo conjunto de todas as camadas de tinta aplicadas, serão definidas na especificação particular respeitante a cada sistema a utilizar.

Sempre que não se consiga obter a espessura mínima especificada, com o número de demãos indicadas, serão dadas umas ou mais demãos de tinta, de modo a atingir-se o valor indicado na especificação.

6.7. Zonas danificadas

Sempre que uma pintura, antes de completamente seca, venha a ficar exposta à acção da chuva, neve ou humidade, deverá ser definida imediatamente qual a zona que ficou afectada pela ocorrência.

Após secagem completa das superfícies atingidas, as pinturas danificadas terão que ser totalmente refeitas, procedendo-se por isso à remoção da tinta já aplicada nessas zonas e repetindo-se todo o esquema de pintura até à fase em que se tenha verificado a ocorrência assinalada.

Igualmente todas as pinturas que tenham sido danificadas por operações de transporte ou montagem terão que ser refeitas, utilizando-se o processo atrás descrito.

7. - ESQUEMA DE PINTURA

TIPO 1 - PINTURA ESQUEMA EPOXI SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS

Decapagem a jacto abrasivo grau SA 2,5.

Primário anticorrosivo epoxidico rico em zinco - 90% na película seca - de dois componentes 40 μ .

Subcapa intermédia de resina epoxi de dois componentes de alta espessura 110 μ .

Esmalte de acabamento epoxi de dois componentes 50 μ .

GB 50 TD 100 TA 50 (SSG - Standard)

As cores serão oportunamente escolhidas, obrigando-se o empreiteiro a executar a obra de pintura em conformidade.

E - CHAPA DE AÇO GALVANIZADA E PRÉ-LACADA NO REVESTIMENTO DE COBERTURAS

1.- OBJECTIVO

Fornecer indicações sobre revestimentos com chapa metálica galvanizada, pré-lacada e quinada.

2.- CARACTERÍSTICAS

As chapas a fornecer e a montar deverão ter as seguintes características:

- Resistir às acções e solicitações a que irão ser submetidas de acordo com as condições definidas nos Eurocódigos 0 e 1, em função dos vãos previstos entre apoios (madres).
- Acabamento: galvanizadas em ambas as faces e pré-lacadas na face a ficar à vista.
- A galvanização será do tipo Z-225 segundo a norma NFP 34301.
- O acabamento final será obtido de acordo com o seguinte esquema ou equivalente:
 - Face interior: duas camadas de primário epoxy -5+5 microns de película de filme seco.
 - Face exterior (a ficar à vista): uma camada de primário anti-corrosão de 5 microns de película de filme seco, mais uma camada de resinas termoendurecidas de 20 microns de película de filme seco.
- Secção constante e desempenho em todas as arestas de modo a obterem-se encaixes sem folgas acentuadas.
- As chapas serão fornecidas com um filme adesivo de protecção na face termolacada a ser retirado após o assentamento.

3.- ASSENTAMENTO

Antes de se iniciar o assentamento proceder-se-á à inspecção das chapas e recusar-se-ão todas as que apresentarem sinais de fissuras, furos, amolgadelas, empenos, riscos ou danos na protecção anti-corrosiva, defeitos de fabrico ou outros quaisquer.

O manuseamento das chapas com um comprimento superior a 3,00 m será executado por mais de 2 homens tendo em vista evitar deformações ou mesmo que quebre.

A colocação das chapas, sempre que tal o justifique, deverá ser obtida por intermédio de roletes de modo a evitar que os revestimentos de protecção se danifiquem.

O assentamento deverá começar do lado oposto ao sentido dos ventos e chuvas dominantes e de baixo para cima.

As sobreposições laterais e longitudinais das chapas e das peças de remate obedecerão às indicações fornecidas pelo fabricante e aos desenhos e pormenores de projecto.

A fixação das chapas à estrutura será efectuada através de parafusos auto-roscentes electrozincados, de tampa plástica e anilha de estanqueidade.

O número de fixações deve ser tal, que assegure o firme assentamento das chapas a efeitos de pressão e sucção que se possam verificar devido à incidência dos ventos.

O aperto dos elementos de fixação será firme sem todavia provocar a deformação de qualquer parte dos elementos que fixar.

Os cortes e furações a efectuar nas chapas, executar-se-ão cuidadosamente e serão realizados por meios mecânicos apropriados e nunca manuais. Estas operações nunca deverão ser executadas sobre zonas já revestidas.

Todos os elementos, remates e peças de vedação quer entre chapas quer entre chapas e outros elementos de construção - desde que nada em contrário esteja indicado nos desenhos e pormenores de projecto -, tais como: cobre-juntas, cumeeiras, remates de empena, de vertente, etc., serão executados em peças moldadas e fornecidas pelo mesmo fabricante das chapas e os seus acabamentos serão correspondentes aos das chapas que rematam.

Todas as chapas, peças de remate e acessórios deverão ser convenientemente colocados de forma a observar-se uma vedação conveniente das peças e do seu conjunto.

A estanqueidade da cobertura será ainda assegurada pela aplicação de massas vedantes em todas as juntas e locais onde a sua aplicação seja necessária.

É obrigação do Empreiteiro eliminar eventuais infiltrações que se venham a detectar posteriormente à colocação das chapas.

O Empreiteiro deverá submeter o plano de colocação das chapas, acessórios e elementos de remate à apreciação da Fiscalização.

O assentamento será executado por pessoal especializado, de preferência do próprio Fabricante.

4.- PARTICULARIDADES

As chapas atrás descritas devem ser manuseadas, transportadas e armazenadas de modo a não sofrerem danos por choque, perfurações, nem flechas provocadas por deformações permanentes.

As chapas devem armazenar-se de preferência sob áreas cobertas, pois a água acumulada entre elas produz manchas, que a verificarem-se, particularmente nas chapas pré-lacadas, são motivo de rejeição.

Quando armazenadas em áreas cobertas e ao abrigo de águas, as chapas colocar-se-ão em pilhas não muito altas sobre calços de madeira, em número suficiente para que a carga se transmita o mais uniformemente possível. Isto é, não se devem verificar flechas acentuadas entre os apoios.

Quando pelo contrário, as chapas ficarem por qualquer motivo sujeitas à acção prolongada da água colocar-se-á a meio um calço de maior altura, provocando uma flecha convexa não demasiado acentuada para não provocar deformações permanentes, mas que no entanto, permite que a água intercalada escorra e não manche e deteriore o revestimento.

F - CHAPA DE ZINCO EM REMATES DE COBERTURA

1.- OBJECTIVO

Fornecer indicações técnicas gerais, sobre chapas de zinco em remates de cobertura.

2.- CARACTERÍSTICAS

A chapa de zinco a utilizar deverá ter as seguintes características:

- homogénea, pura (mínimo de 98,5% de zinco) e maleável;
- espessura constante e de acordo com a normalização indicada em desenhos e pormenores do projecto;
- ser plana, sem fendas, rasgos, furos ou quaisquer outros danos;
- o desenvolvimento das peças será definido em projecto, mas adaptado às circunstâncias reais do trabalho de forma a obter-se sempre uma perfeita vedação.

3.- EXECUÇÃO

A moldagem da chapa deverá ser feita por pessoal especializado e de forma a não provocar qualquer deterioração nas chapas.

As soldaduras serão feitas com ferros apropriados, sem chama directa utilizando decapante e soldas adequadas.

Em nenhum caso serão permitidas fixações por meio de pregos, cravos ou outros elementos que façam perigar a estanqueidade das peças.

Nos remates, nas juntas de dilatação e nos locais de inserção dos tubos de queda, serão dispensados cuidados especiais, de modo a verificar-se uma perfeita estanqueidade.

G – MATERIAIS NÃO ESPECIFICADOS

1. - Todos os materiais não especificados e que tenham emprego na obra, deverão satisfazer às condições técnicas de resistência e segurança impostas por regulamentos que lhe digam respeito, nomeadamente às Normas Portuguesas, quando existirem, ou terem características que satisfaçam às boas normas construtivas. Poderão ser submetidos a ensaios especiais, tendo em atenção o local do emprego, o fim a que se destinam e a natureza do trabalho que se lhes vai exigir.

À sua chegada à obra dever-se-ão observar todos os preceitos de segurança no respeitante à sua armazenagem. Por segurança entende-se não só a do pessoal mas também a dos próprios materiais para que se encontrem em perfeitas condições quando da sua aplicação.

H – TRABALHOS NÃO ESPECIFICADOS

- 1.- Todos os trabalhos não especificados nestas Especificações Técnicas, que forem necessários para o cumprimento da presente empreitada, serão executados com perfeição e solidez, tendo em vista os regulamentos, normas e demais legislação em vigor, as indicações do Projecto e as instruções da Fiscalização.



A – PEÇAS ESCRITAS
V – MAPA DE QUANTIDADES

MAPA DE QUANTIDADES:

Secção	Quantidade (m)	Peso Total (kN)
] [PN120	2672	701
UPN160	2924	541
IPE140	3762	475
HE140B	1285	425
UPN80 REF.	3335	407
2L60X8/0/	2056	286
UPN80	3123	265
UPN200	863	214
TUBO 50X6	1372	112
HE260A	159	106
2L30X30X4/80	2970	102
HE200A	232	96
2L40X40X4/160	2015	94
L60X8	1215	84
HE180A	206	72
HE220A	116	58
CH 16.150	261	48
UPN180	189	41
UPN260	93	35
2L40X40X4/200	588	28
[]PN260	22	16
IPE100	201	16
IPE120	150	15
IPE80	266	15
CH 16.180	63	14
VARAO	1116	7
IPN180	24	5
CH 10.200	16	5
CH 8.300	9	3
IPN260	8	3
L40X4	56	1
		4290

Mapa de Quantidades

O peso das Chapas de base, goussets, chumbadouros, parafusos, e outros elementos de ligação é 322 kN.

O peso da estrutura metálica é $4612 \text{ kN} / 10300 \text{ m}^2 = 0,45 \text{ kN/m}^2$.

Sendo o peso dos Arcos Meridianos igual a 885 kN.

A – PEÇAS ESCRITAS

VI – CONCLUSÕES

CONCLUSÕES:

Os resultados finais obtidos estão de acordo com o pré-dimensionamento realizado, ao nível dos esforços nas secções bem como dos deslocamentos obtidos, como se demonstra em seguida:

Esforços na secção S para a combinação de acções ELUWT-:

Modelo Final 3D:

$$N_{Ed} \text{ UPN 200 CORDÃO SUP.} = - 100 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \text{ UPN 160 CORDÃO INF.} = + 110 \text{ kN}$$

Pré-dimensionamento:

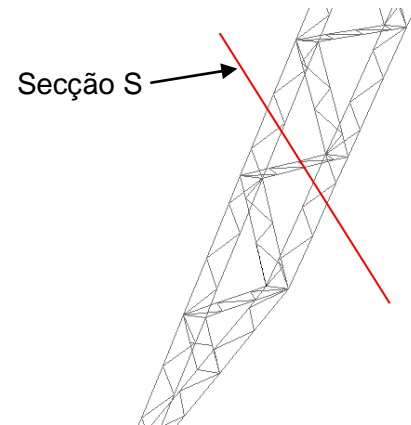
$$N_{Ed} = + 74 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = + 385 \text{ kN.m}$$

$$N_{\text{resultante}} = N/4 - M / (2d)$$

$$N_{Ed} \text{ UPN 200 CORDÃO SUP.} = 74/4 - 385 / (2 \times 1,6) = - 102 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \text{ UPN 160 CORDÃO INF.} = 74/4 + 385 / (2 \times 1,6) = + 139 \text{ kN}$$



Deslocamentos obtidos no anel de fecho para as combinações de acções relativas aos Estados Limites de Utilização:

Modelo Final 3D:

Deslocamento vertical: $\delta = 0,030$ m

Deslocamento horizontal: $\delta = 0,039$ m

Pré-dimensionamento:

Deslocamento vertical: $\delta = 0,042$ m

Deslocamento horizontal: $\delta = 0,053$ m

Os deslocamentos e esforços obtidos são compatíveis com os dois modelos (pré-dimensionamento e modelo final em 3D); de referir que no modelo 3D final se teve em conta toda a estrutura (Arcos Meridianos, Pórticos Secundários e Anéis de Travamento).

As tensões de cálculo obtidas em todas as barras incluindo as sujeitas a encurvadura são inferiores às tensões resistentes do aço utilizado.

As ligações adoptadas são na sua maioria soldadas em oficina de modo a diminuir o tempo de montagem.

Face à bibliografia consultada e atendendo ao dimensionamento realizado constata-se que o peso total da estrutura aponta para valores por m² similares para estruturas deste tipo, razão pela qual se considerou que a concepção estrutural adoptada é economicamente adequada.

Com efeito o peso de 0,45 kN/m² obtido para a estrutura metálica encontra-se dentro do espectável de acordo com a bibliografia da especialidade, que refere um intervalo de aproximadamente 0,5 a 1,2 kN/m² para este tipo de estrutura. (d)

De referir também que foi realizado igualmente o dimensionamento das barras da estrutura majorando os momentos flectores MyEd e MzEd por 50% (Ky=1.5 e Kz=1.5 e KLT=1.0) com base nas antigas expressões definidas no EC3 (dimensionamentos de

colunas – viga) e nas folhas da Cadeira de Pontes do Prof. António Reis (I.S.T), verificando-se que poucos elementos obtiveram rácios superiores à unidade, concluindo-se que os elementos constituintes da estrutura funcionam essencialmente à compressão como é obvio neste tipo de estruturas quando sujeitas a carregamentos que actuam apenas nos nós (o peso próprio das barras não é preponderante), excepção feita às madres que funcionam à flexão desviada.



B – PEÇAS DESENHADAS

LISTA DE PEÇAS DESENHADAS:

NÚMERO	DESIGNAÇÃO
1	½ ARCO MERIDIANO – ALÇADO
2	½ ARCO MERIDIANO – PORMENOR Z1
3	½ ARCO MERIDIANO – PORMENOR TRAVAMENTOS
4	½ ARCO MERIDIANO – PORMENOR K1
5	½ ARCO MERIDIANO – PORMENOR TRAVAMENTOS 2
6	ANEL DE FECHO
7	PÓRTICO SECUNDÁRIO – ALÇADO
8	PÓRTICO SECUNDÁRIO – PORMENOR X
9	PÓRTICO SECUNDÁRIO – PORMENOR Y
10	VIGA TRIANGULADA
11	SECTOR TIPO E CONTRAVENTAMENTOS
12	GIGANTES, VIGA DE BORDADURA, APOIOS INTERMÉDIOS, PLANTA DE LOCALIZAÇÃO E CORTES



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / FORMAÇÃO
EXTRA CURRICULAR**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / FORMAÇÃO EXTRA CURRICULAR:

- (a) LAMAS, A.; MARTINS, C.; ABECASIS, T.; CALADO, L. – **Actas do V Congresso de Construção Metálica e Mista**. Lisboa 2005;
- (b) MOREL, Jean – **Calcul des structures métalliques selon L' Eurocode 3**. 4^a ed. Paris: EYROLLES;
- (c) GORENC, B.; TINYOU, R.; SYAM, A. – **Steel Designers' Handbook**. 7th edition Sydney: UNSW PRESS;
- (d) MACGINLEY, T.J. – **Steel Structures: Practical design studies**. 2nd Edition London: E & FN SPON;
- (e) GARDNER, L.; NETHERCOT, D.A. – **Designers' Guide to EN 1993-1-1: Eurocode 3, Design of Steel Structures**. Haig Gulvanessian;
- (f) HIRT, Manfred A. ; BEZ, Rolf – **Traité de Génie Civil, Volume 10 - Construction Métallique: Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement**. Première édition Lausanne: PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES.
- (g) BROZZETTI, Jacques; HIRT, Manfred A. ; BEZ Rolf – **Complément au Traité de Génie Civil - Construction Métallique: Exemples numériques adaptés aux Eurocodes**. Première édition Lausanne: PRESSES POLYTECHNIQUES ET UNIVERSITAIRES ROMANDES.
- (h) ANDROIC, Boris ; DZEBA, Ivica ; DUJMOVIC, Darko – **International Structural Steel Sections : Design Tables According to Eurocode 3**. 1st edition Berlin: ERNST & SOHN;
- (i) REIS, António ; CAMOTIM, Dinar – **Estabilidade Estrutural**;
- (j) NP EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas;
- (k) NP EN 1991-1-1 – Acções em estruturas. Parte 1-1 Acções gerais;
- (l) NP EN 1991-1-4 – Acções em estruturas. Parte 1-4 Acções do vento;

- (m) NP EN 1992-1-1 – Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios;
- (n) NP EN 1993-1-1 – Projecto de estruturas de aço. Parte 1-1 Regras gerais e regras para edifícios;
- (o) NP EN 1993-1-8 – Projecto de estruturas de aço. Parte 1-8 Projecto de ligações;
- (p) NP EN 1998-1 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1 Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios;
- (q) Consulta de alguns elementos referentes a uma cúpula similar postos à disposição por uma cimenteira.
- (r) Curso de Formação Profissional – Dimensionamento Sísmico de Estruturas Metálicas (Leccionado pela CMM);
- (s) Reunião com o Sr. Fernando Santos (acompanhou a construção de cúpula similar projectada pelo Professor Muralha).