

ANÁLISE
ESTRUTURAL

INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

RELATÓRIO
JUNHO 2016

Mercado de Alvalade Norte
Avenida do Rio de Janeiro, Lisboa



rua general costa cascais 117 r/c dto 3800-192 aveiro | tel. 234 311 506 | fax. 234 311 529 | geral@fo-engenheiros.com

www.fo-engenheiros.com

DECLARAÇÃO ORDEM DOS ENGENHEIROS



Região Centro

DECLARAÇÃO PROJETOS DE ENGENHARIA

Nº Regional: **6821**

O Conselho Diretivo da Região Centro da Ordem dos Engenheiros declara, para efeitos do estabelecido nos termos do disposto no n.º3, do artigo 10.º, do Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro, com a redação que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 136/2014, de 9 de Setembro, que o(a) Engenheiro(a) Civil **Paulo Alexandre da Rocha Doutor** é membro efetivo desta Ordem, titular da Cédula Profissional nº **50624**, tem o nível de qualificação profissional de **E2** e está na efetividade dos seus direitos como Engenheiro(a).

Nos termos do disposto no n.º3, do artigo 10.º, do Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro, com a redação que lhe foi dada pelo Decreto-Lei n.º 136/2014, de 9 de Setembro:

a) Pode elaborar e subscrever projetos de engenharia relativos a obras das categorias I, II e III, previstas no artigo 11.º do anexo I e no anexo II da Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de Julho conforme estabelecido no anexo III, a que se refere o n.º 3 do artigo 10.º, da Lei n.º 40/2015 de 1 de junho, que altera e republica a Lei n.º 31/2009, de 3 de julho;

b) Para os projetos referidos na alínea a), pode exercer a função de Coordenação de Projeto, em obras até à classe 5 de alvará, nos termos do disposto no anexo I, a que se refere o n.º 3 do artigo 4.º, da Lei nº40/2015, de 1 de junho.

Esta declaração destina-se a ser exibida perante as entidades licenciadoras e é válida pelo prazo de um ano.

Coimbra, 5 de Agosto de 2015

O Presidente do Conselho Diretivo

RELATÓRIO

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	6
2. ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA	7
2.1. ESTRUTURA DE BETÃO	7
2.1.1. MATERIAIS	9
2.1.2. REVESTIMENTOS E OUTRAS CARGAS PERMANENTES	10
2.1.3. ACÇÃO DE SOBRECARGA REGULAMENTAR	10
2.1.4. ACÇÃO DO VENTO	10
2.1.4.1. CÁLCULO DA AÇÃO DO VENTO	10
2.1.5. CÁLCULO.....	10
2.2. ESTRUTURA METÁLICA – COBERTURA.....	14
3. CONCLUSÕES.....	19

INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

ANÁLISE ESTRUTURAL

RELATÓRIO

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo, realizado pela **FOeng – Gabinete de Engenharia, Lda.** após solicitação da **Ikaros-Hemera**, incide sobre a inspeção, análise e avaliação de segurança estrutural da cobertura do Mercado de Alvalade Norte, localizada na Avenida do Rio de Janeiro - Lisboa, com o objectivo de aferir a viabilidade para instalação de painéis fotovoltaicos sobre a mesma.

O estudo incidiu, numa primeira fase, na análise visual dos elementos estruturais e no levantamento dimensional, quando possível.

O edifício em questão, é um edifício em que a sua construção decorreu entre os anos de 1963 e 1964. Na Figura 1 pode observar-se a localização do edifício na Av. do Rio de Janeiro, em pleno centro da cidade de Lisboa. Na Figura 2, através de uma fotografia aérea identifica-se a cobertura a analisar estruturalmente.



Figura 1 – Localização geográfica do Mercado de Alvalade Norte, na Av. do Rio de Janeiro – Lisboa.



Figura 2 – Imagem tridimensional da cobertura do Mercado de Alvalade Norte analisada no presente estudo.

2. ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA

2.1. ESTRUTURA DE BETÃO

A cobertura em análise neste relatório é composta por uma estrutura de betão armado em pórtico constituída por pilares e vigas. Tanto os elementos que compõem os pilares como os elementos que compõem as vigas são elementos de secção variável. Enquanto os pilares possuem uma secção variável rectangular, as vigas possuem uma secção variável em I.

Após consulta de algumas peças desenhadas (Figura 3), parte do projeto inicial do Mercado de Alvalade Norte, pode concluir-se que o sistema de fundações da estrutura de betão armado é um sistema de fundações indirectas com duas estacas de betão armado por pilar. A sua disposição garante um encastramento na ligação pilar-solo.

Os pórticos de betão armado, que compõem o edifício e a cobertura, possuem um espaçamento entre si de 8,20m.

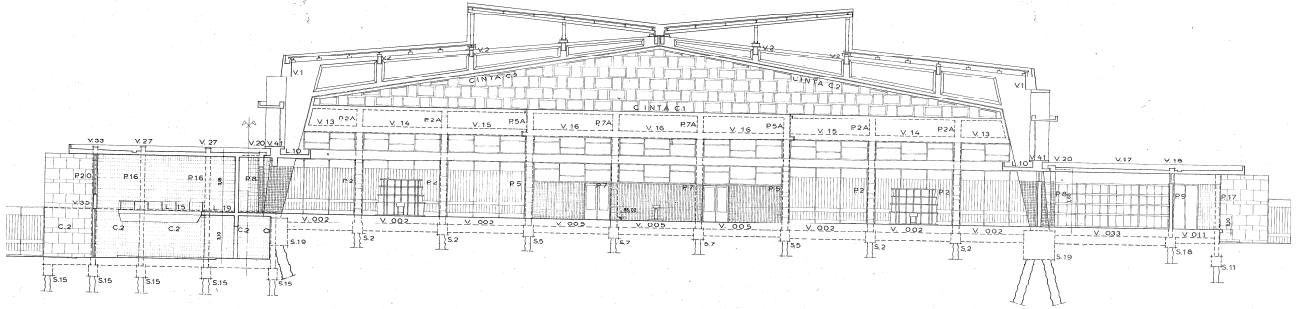


Figura 3 – Pórtico principal. Desenho retirado de excertos do projeto inicial (1964).

Em seguida efetuou-se um levantamento estrutural no local, onde se procedeu a uma avaliação do estado geral da estrutura, tanto de betão armado como metálica, assim como um levantamento dimensional “*in situ*” dos elementos estruturais que compõem a cobertura.



Figura 4 –Pórtico em análise visto do interior do Mercado de Alvalade Norte.

Após esta fase, procedeu-se a um levantamento detalhado dos elementos auxiliado, também, por um detetor de armaduras, por forma a aferir a quantidade de aço presente nos mesmos.

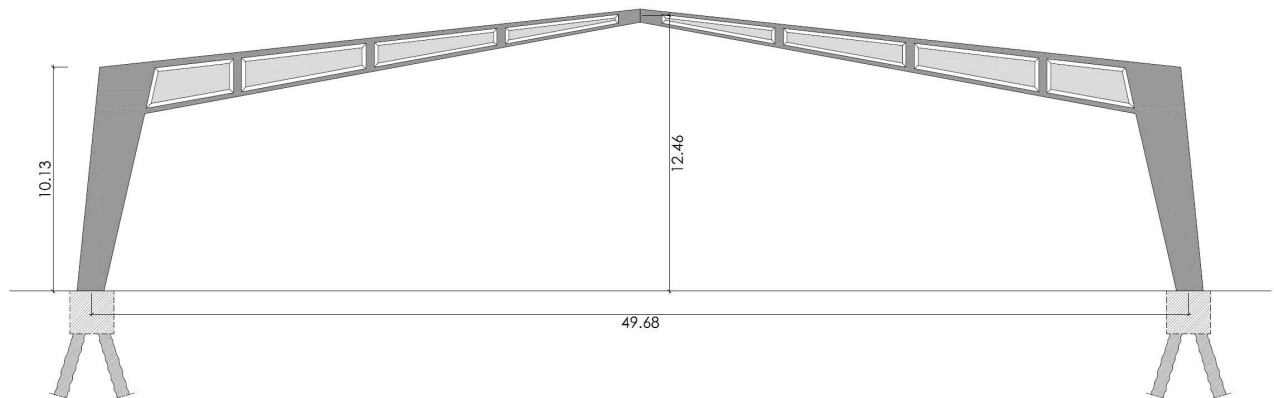


Figura 5 – Levantamento geométrico do pórtico principal.

Após o levantamento estrutural, procedeu-se à elaboração de um modelo de cálculo para um pórtico conforme Figura 6.

Para efeitos de modelação numérica foram contabilizadas as cargas permanentes já existentes (madres metálicas IPE-160 + painel sandwich 50mm), as futuras cargas impostas pela aplicação dos painéis fotovoltaicos e uma sobrecarga regulamentar.

As acções permanentes relativas ao peso próprio das peças foram avaliadas tendo em conta as dimensões dos diferentes elementos estruturais, os pesos volúmicos dos materiais que os constituem, e as disposições previstas no REBAP.

- Peso específico do betão armado: 25,0 kN/m³;
- Peso específico do aço: 78,5 kN/m³;

2.1.1. MATERIAIS

Para efeitos de cálculo, e na ausência de informação que permita identificar o tipo de betão e de aço utilizado na construção dos elementos da cobertura, foram definidos tipos de material que nos permitem estar do lado da segurança.

Betão em pórticos	B25 (C20/25)
Aço em armaduras de reforço	A400NR
Aço em estrutura metálica	Fe360 (S235)

Será efectuado um estudo paramétrico por forma a aferir se a variação da qualidade dos materiais influencia a capacidade de carga da asna, por forma a que se possa balizar a sua aceitação.

2.1.2. REVESTIMENTOS E OUTRAS CARGAS PERMANENTES

Cobertura (Madres IPE-160 + Paineis Sandwich 40mm)	0,25 kN/m ²
Painéis Fotovoltaicos + Estrutura	0,20 kN/m ²

2.1.3. ACÇÃO DE SOBRECARGA REGULAMENTAR

Cobertura não acessível	0,30 kN/m ²
-------------------------	------------------------

2.1.4. ACÇÃO DO VENTO

Considerou-se uma ação de vento tipificada no RSA (Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes), localizando o edifício numa Zona A e com rugosidade do tipo I – interior de zonas urbanas com predominância de edifícios de médio e grande porte.

2.1.4.1. CÁLCULO DA ACÇÃO DO VENTO

O vento foi calculado através do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (R.S.A.) como demonstrado a seguir.

Valor característico da pressão dinâmica do vento: $W_k = 0.70 \text{ kN/m}^2$ (zona “A” e rugosidade aerodinâmica do solo do tipo I).

Para a determinação da ação do vento considerou-se os coeficientes de pressão exterior para coberturas de 2 vertentes ($\alpha = 6^\circ$) segundo o R.S.A (Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes).

Esta ação aplicada na cobertura é posteriormente distribuída através do diagrama rígido dos pórticos aos pilares.

2.1.5. CÁLCULO

Após definição completa dos modelos de cálculo, procedeu-se à análise estrutural dos mesmos.

É de referir que os valores a seguir apresentados, foram calculados para Estados Limites Últimos de Segurança.

A segurança em relação aos Estados Limites Últimos foi feita, em geral, em termos de esforços com base na condição.

$$S_d \leq R_d$$

em que S_d e R_d designam respetivamente os valores de dimensionamento do esforço atuante e do esforço resistente.

Foram consideradas, para os Estados Limites Últimos, as seguintes combinações fundamentais:

i) Em geral

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[S_{Qik} + \sum_{j=2}^m \psi_{0j} S_{Qjk} \right]$$

em que:

S_{Gik} - esforços resultantes de ações permanentes consideradas com os seus valores característicos

S_{Qik} - esforço resultante da "ação variável base" tomada com o seu valor característico

S_{Qjk} - esforços resultantes das restantes ações variáveis tomadas com os seus valores característicos.

Os coeficientes de segurança γ_{gi} e γ_q , respetivamente para ações permanentes e variáveis serão os seguintes:

- peso próprio da estrutura $\gamma_g=1.35$ ou 1.00 , (conforme mais desfavorável)
- restantes cargas permanentes $\gamma_g=1.35$ ou 1.00 , (conforme mais desfavorável)
- ações variáveis $\gamma_g=1.50$

Apresenta-se nas figuras abaixo, o modelo de cálculo do pórtico assim como os diagramas de momentos flectores e de tensões. Elaborou-se duas situações de cálculo para comparação. A primeira situação corresponde à existente, isto é, sem aplicação da carga provocada pela instalação do sistema de produção de energia fotovoltaica, e a segunda situação corresponde à final, ou seja, contabilizando a carga proveniente da instalação dos painéis fotovoltaicos.

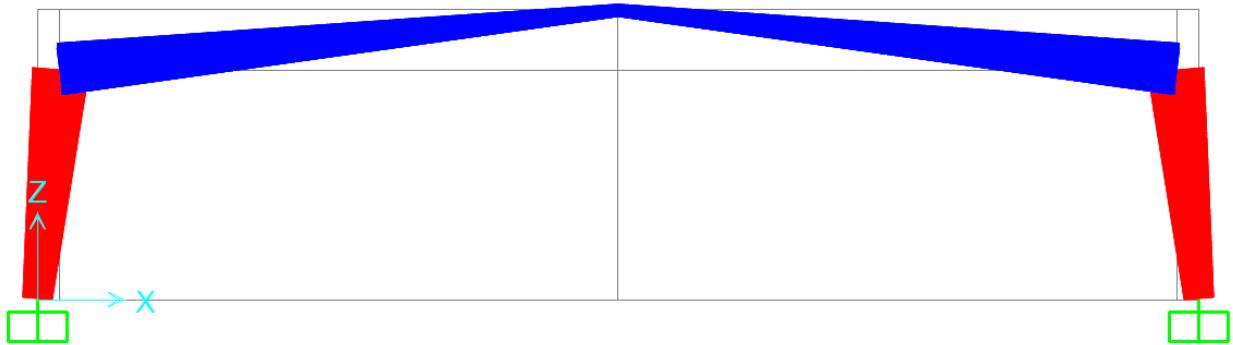


Figura 6 – Modelo de cálculo do pórtico principal.

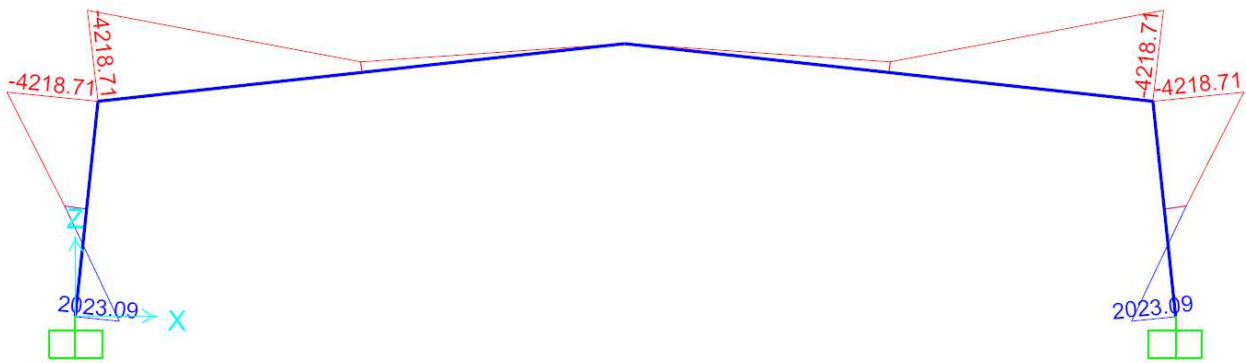


Figura 7 – Diagrama de momentos flectores para situação existente (sem aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

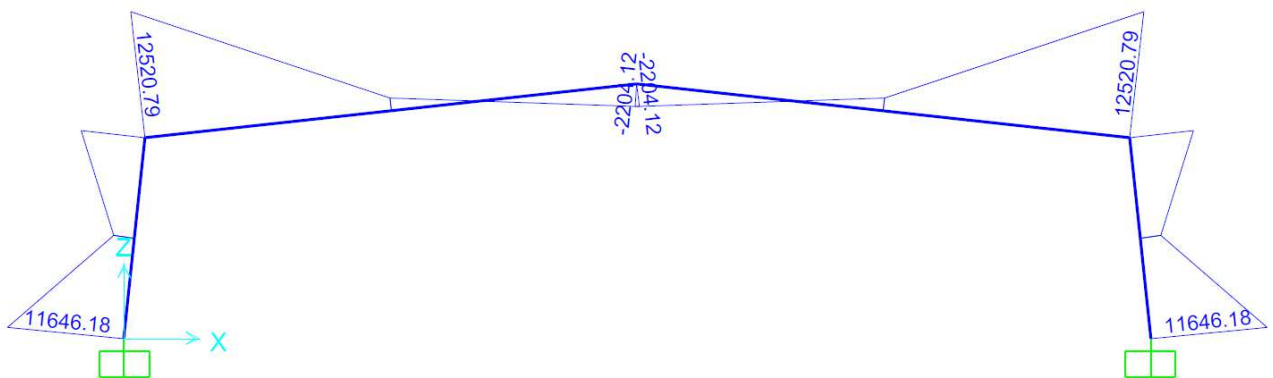


Figura 8 – Diagrama de tensões nos elementos de betão para situação existente (sem aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

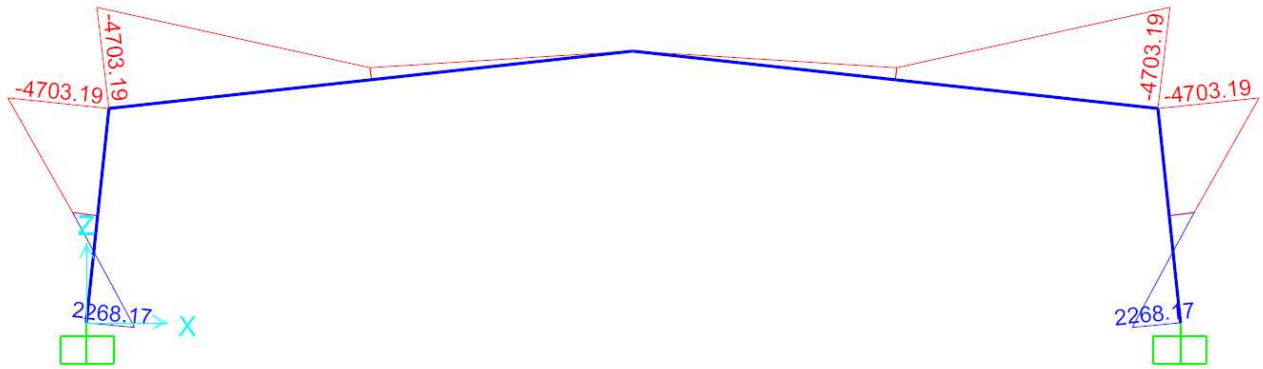


Figura 9 – Diagrama de momentos flectores para situação final (com aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

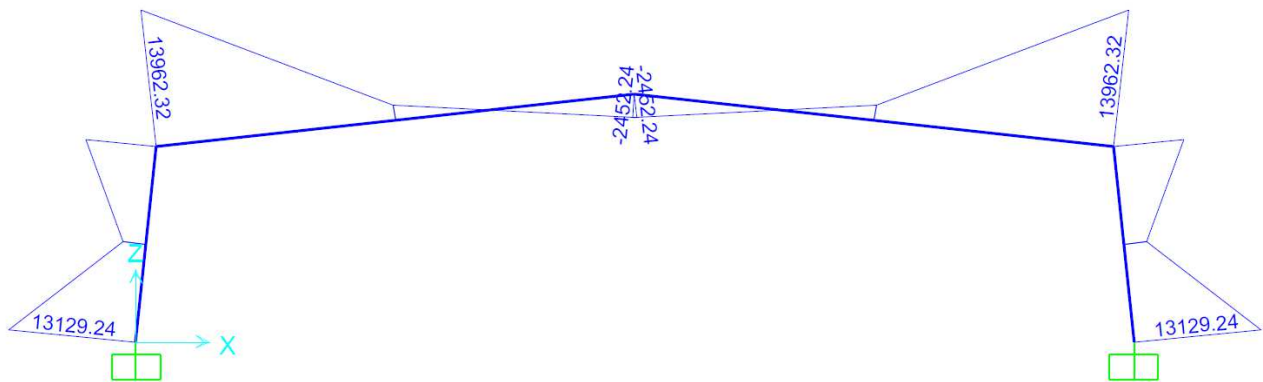


Figura 10 – Diagrama de tensões nos elementos de betão para situação final (com aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

Em seguida apresenta-se as deformadas do pórtico para a situação existente e para a situação face ao incremento de carga na cobertura provocado pela instalação de painéis fotovoltaicos.

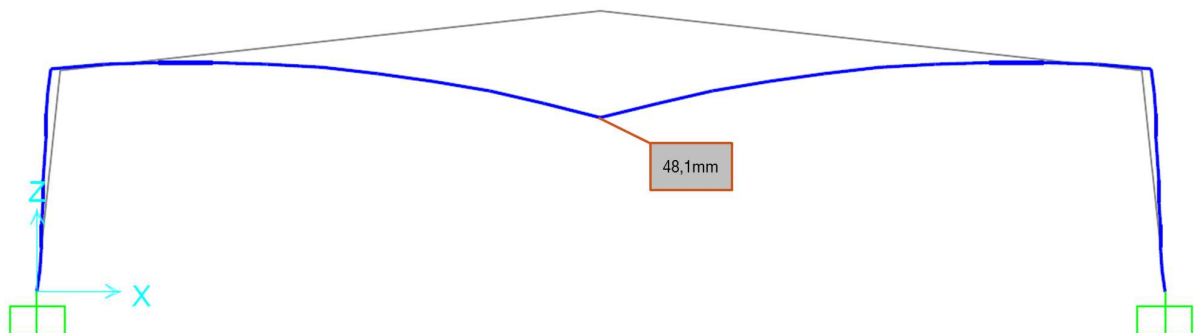


Figura 11 – Deformada dos elementos de betão para situação existente (sem aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

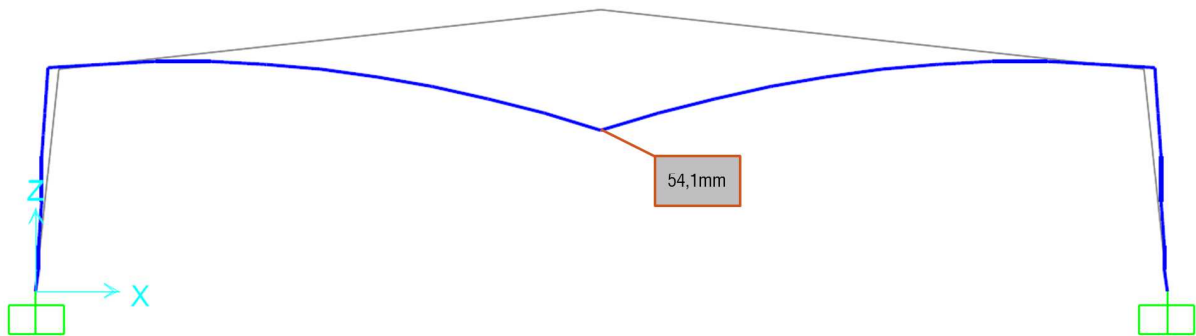


Figura 12 – Deformada dos elementos de betão para situação final (com aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica).

Comparando as duas deformadas, constata-se que o aumento de carga na cobertura provoca um aumento máximo de deformação na parte mais crítica do pórtico (a meio-vão) de, aproximadamente, 6.0 mm. Não obstante de se tratar de uma estrutura em betão armado em que as deformações devem ser minimizadas e controladas para evitar problemas de fissuração e face ao vão em questão, o incremento de deformação é admissível.

2.2. ESTRUTURA METÁLICA – COBERTURA

A estrutura metálica que compõe a cobertura é composta por madres metálicas do tipo IPE-160 que estão simplesmente apoiadas nos pórticos. Estas estão rotuladas nos apoios e não possuem continuidade entre vãos.

Na zona central da cobertura existe uma sobrelevação da cobertura e inversão da pendente. Esta sobrelevação é conseguida através da elevação do ponto de apoio das madres com a colocação de um pequeno pórtico, sobre o pórtico de betão, constituído por perfis metálicos do tipo HEA-160.

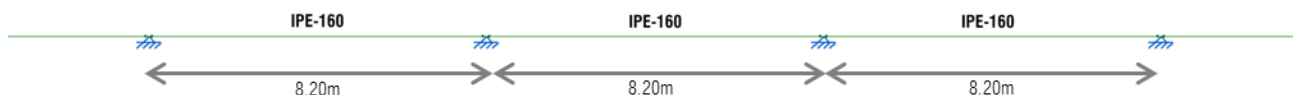


Figura 13 – Modelo de cálculo das madres de cobertura IPE-160.

Foi elaborado um modelo de cálculo 3D da estrutura, aplicando as cargas regulamentares assim como as novas cargas provenientes da instalação de painéis fotovoltaicos.

Os esforços foram obtidos através do programa de cálculo automático com recurso ao método dos elementos finitos numa modelação tridimensional, considerando todos os elementos que definem a estrutura: pilares e vigas.

A estrutura discretiza-se em elementos tipo barra ou grelhas de barras, em função do elemento estrutural a modelar:

- Pilares:

São modelados com elementos de barra verticais, sendo o seu eixo o centro de gravidade da sua secção transversal.

- Vigas:

Definem-se como elementos de barra horizontais, fixando nós na intersecção com a face de elementos de suporte. As madres de suporte da telha são perfis laminados do tipo IPE-160 com afastamento entre si de 2.00m e 8.20m de comprimento.



Figura 14 – Madres metálicas IPE-160 vistas ao nível da cobertura.

Como na análise efetuada ao pórtico de betão, para as madres metálicas IPE-160 efetuou-se uma primeira análise estrutural face às condições existentes e outra análise estrutural face às condições pretendidas, com a aplicação de sistema de produção de energia fotovoltaica sobre a cobertura.

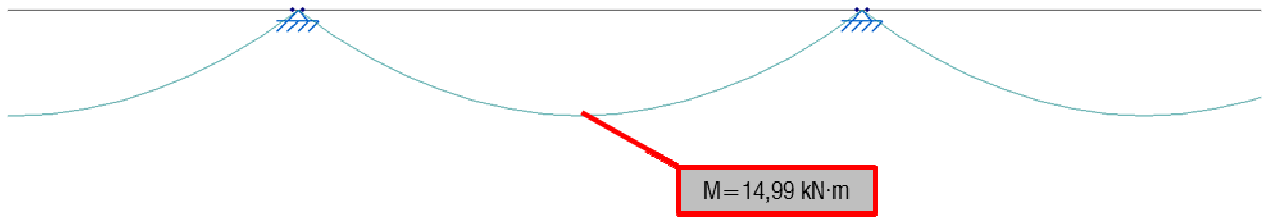


Figura 15 – Diagrama de Momentos Flectores – Condições Existentes – para combinação de ações ELU. Ação Base: Sobrecarga.

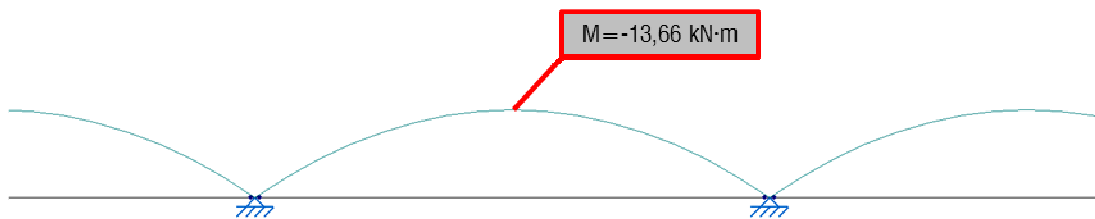


Figura 16 – Diagrama de Momentos Flectores – Condições Existentes – para combinação de ações ELU. Ação Base: Vento.

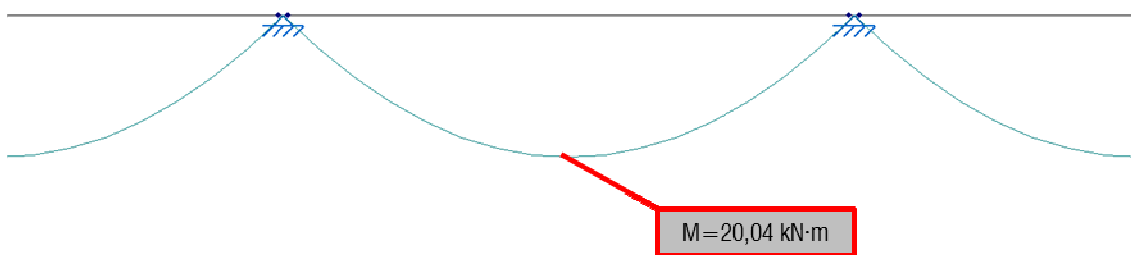


Figura 17 – Diagrama de Momentos Flectores – com Painéis FV – para combinação de ações ELU. Ação Base: Sobrecarga.

Dispensa-se a apresentação do diagrama de momentos flectores (situação com painéis fotovoltaicos) para combinação ELU – Ação base Vento, uma vez que a aplicação de carga sobre a cobertura é favorável face à ação de vento.

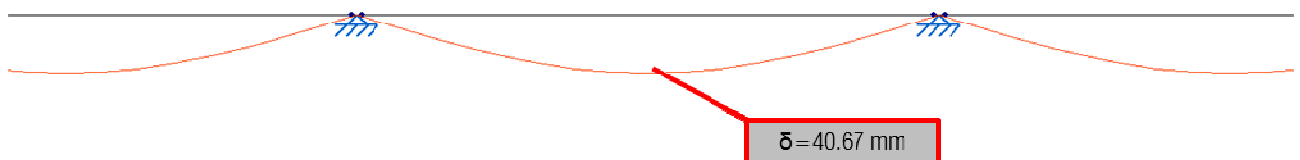


Figura 18 – Deformada da madre IPE160 – Condições Existentes – para combinação de ações ELS – Ação Base: Sobrecarga.

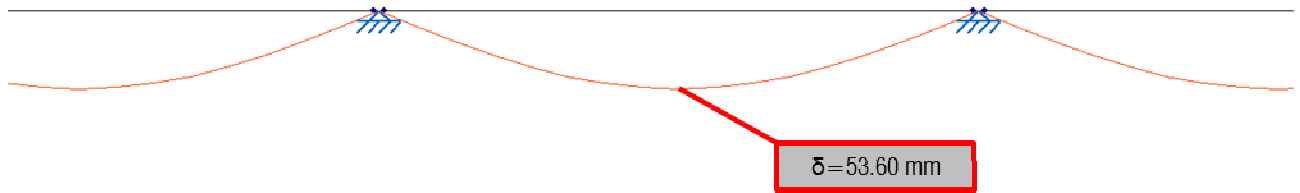


Figura 19 – Deformada da madrepote IPE160 – Condições Finais – para combinação de ações ELS – Ação Base: Sobrecarga.

O incremento de carga na cobertura provocado pela instalação de um sistema de produção de energia fotovoltaica provoca um aumento máximo da deformação das madres (a meio-vão) em, aproximadamente, 13mm, uma deformação admissível face ao vão de cada madrepote, 8.20m.

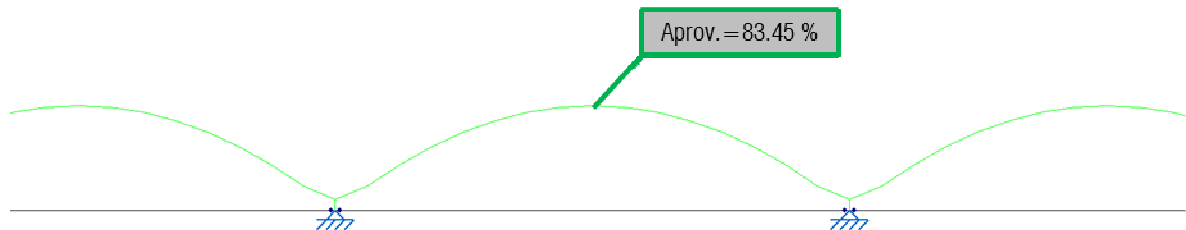


Figura 20 – Diagrama de aproveitamento de tensões em combinações ELU.

Como referido, existe uma zona do vão central da cobertura em que a cobertura é elevada e o sentido das pendentes é invertido no sentido do cume. A estrutura metálica, implementada sobre os pórticos de betão armado, que garante esta elevação e inversão da cobertura é composta por perfis metálicos do tipo HEA-160 e foi, também, alvo de análise neste estudo.

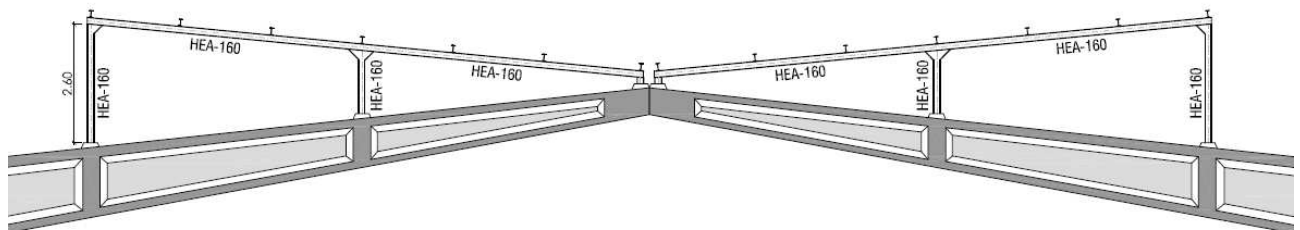


Figura 21 – Levantamento dimensional da estrutura metálica complementar da cobertura. Inversão de pendente.



Figura 22 – Estrutura metálica complementar da cobertura.

Através da modelação numérica desta estrutura complementar, foi possível verificar que é admissível o aumento de carga provocado pela instalação de painéis fotovoltaicos.

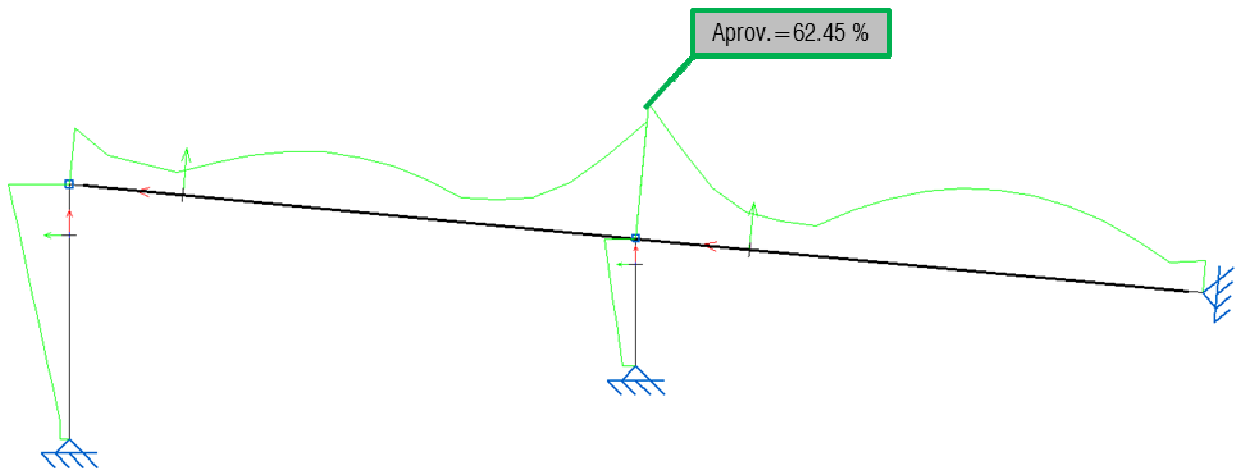


Figura 23 – Diagrama de aproveitamento de tensões em combinações ELU.

Como se pode observar na Figura 23, os perfis metálicos HEA-160 têm um aproveitamento de resistência máximo de, aproximadamente, 62,5%.

3. CONCLUSÕES

Após análise e estudo da capacidade resistente dos elementos constituintes da cobertura (estrutura de betão armado e estrutura metálica), e comparando esta com os esforços atuantes em cada um dos elementos, concluiu-se que todos os elementos estruturais garantem os limites mínimos de segurança face à instalação de um sistema de produção de energia fotovoltaica.

Também, em termos de análise visual de elementos estruturais e seu estado de conservação, concluiu-se que estes apresentam um excelente aspeto visual não se verificando qualquer ponto de exposição de armaduras de reforço nos elementos de betão nem fissurações que comprometam a segurança da estrutura. Também os elementos metálicos apresentam um bom estado de conservação, visualizando-se esporadicamente pequenos pontos de corrosão.

Aveiro, Junho de 2016,

O Técnico,

(Eng.º Miguel Costa)

O Técnico Responsável,

(Eng.º Paulo Doutor)