

DESAFIOS NA CONCEÇÃO DA CLARABOIA METÁLICA MÓVEL DO NOVO CAMPUS SBE DA UNIVERSIDADE NOVA EM CASCAIS

Hugo Augusto^{a,*}, César Ribeiro^b, David Valério^c, Tiago Ferreira^d, Marco Pereira^e e Filipe Gomes^f

^{a,b,c,d,e,f} *Gabinete técnico de Viseu em parceria com a Faustino & Ferreira SA e a Aciotec.*

Resumo. Este artigo pretende refletir sobre os desafios associados à conceção, dimensionamento, preparação, fabrico e montagem da estrutura, da claraboia móvel do claustro para o novo campus da Universidade Nova, School of Business & Economics, situado em Carcavelos, Cascais, na perspetiva técnica de engenharia que os acompanha. A claraboia móvel tem dimensões aproximadas de 20x33.5m², compostas por um sistema estrutural em treliça, suportando vidro na face superior e painel metálico nas fachadas. Um dos maiores desafios desta estrutura prende-se com o facto de esta ser móvel, permitindo a total abertura da claraboia na cobertura do claustro. Conclui-se com uma reflexão sobre os desafios e as soluções encontradas pela equipa multidisciplinar envolvida.

1. Introdução

O novo campus em Carcavelos, Cascais, foi inaugurado no dia 29 de setembro de 2018, albergando a Nova School of Business & Economics, e conta uma área de 46000 m², onde se incluem 55 salas, 26 anfiteatros, uma biblioteca, uma residência de estudantes com 120 quartos, espaços de estudo e serviços como: supermercado, ginásio, restaurantes e clínica médica, num valor global do empreendimento de aproximadamente 50 milhões de euros.

A empresa Faustino & Ferreira S.A. foi responsável pelo fabrico e montagem da estrutura metálica, com cerca de 1000 toneladas, cujo projeto é da autoria da GRID CEPE S.A.

No decorrer dos trabalhos a solução fixa para a grande claraboia que dá para o claustro foi alterada para uma solução móvel. O projeto desta nova solução foi assumido pelo empreiteiro da estrutura metálica, e elaborado pelo Gabinete Técnico de Viseu parceiro da Faustino & Ferreira S.A.

Pretendia-se manter o conceito de claraboia, quer para iluminação quer para permitir a climatização do espaço interior. No entanto, quando o tempo o permitisse, ter a possibilidade de criar um grande espaço aberto para o exterior, permitindo a entrada de luz e a ventilação dos espaços conexos. A transição da maquete original para a solução adotada pode ser vista na Fig. 1.

A claraboia móvel tem dimensões aproximadas de 20x33.5 m², compostas por um sistema estrutural em treliça, suportando vidro na face superior e painel metálico nas fachadas.

Um dos maiores desafios desta estrutura prende-se com o facto de esta ser móvel, permitindo a total abertura da claraboia na cobertura do claustro. A localização dos carris ao longo do lado menor da claraboia, assim como a necessidade de escoamento das águas pelo lado maior, condicionaram o esquema estrutural, sendo que as treliças principais vencem o maior vão e a sua altura é variável consoante os alinhamentos para permitir a pendente.

Em termos estruturais, e devido aos condicionalismos associados à movimentação, a estrutura apenas está “fixa” ao exterior nos rolamentos localizados nos montantes das treliças das faces menores da estrutura. O seu dimensionamento seguiu as recomendações dos Eurocódigos, nomeadamente para a determinação da ação do vento, sismo, temperatura e sobrecarga de manutenção. Assim como para a verificação da estrutura em termos de resistência, deformações, detalhes de ligações e compatibilidade com os mecanismos de movimentação da estrutura.

Na sua vertente técnica foram ainda tidos em conta os desafios referentes à modelação, fabrico e montagem da estrutura e revestimentos, por forma a garantir a compatibilidade orgânica com os elementos da envolvente, os mecanismos de movimentação, os requisitos de funcionalidade, e o faseamento construtivo.

Conclui-se com uma reflexão sobre os desafios e as soluções encontradas pela equipa multidisciplinar envolvida.



a) Maquete virtual original (zona de intervenção assinalada)



b) Edifício acabado (zona de intervenção assinalada)

Fig. 1: Enquadramento do novo campus SBE da Universidade Nova em Carcavelos

2. Conceção, pressupostos e requisitos

A conceção estrutural de um edifício, ou parte dele, tem de garantir, de forma eficiente, a função a que se destina o mesmo. Tem de ser capaz de resistir às ações a que está sujeita e garantir critérios de conforto e de operacionalidade, respeitando a arquitetura e demais especialidades. E apresentar uma relação proporcional entre a dimensão dos elementos da estrutura, as ações e a geometria dos elementos que a compõem, de forma a obter uma otimização dos recursos e custos. Sendo assim, os pontos estruturantes que podem ser considerados na fase de conceção são: a função, a localização e a estruturação [1].

Neste caso particular, pretendia-se conceber uma estrutura para a operacionalização de uma claraboia com grande vão que fosse móvel sobre a cobertura do edifício de betão armado que lhe dá apoio.

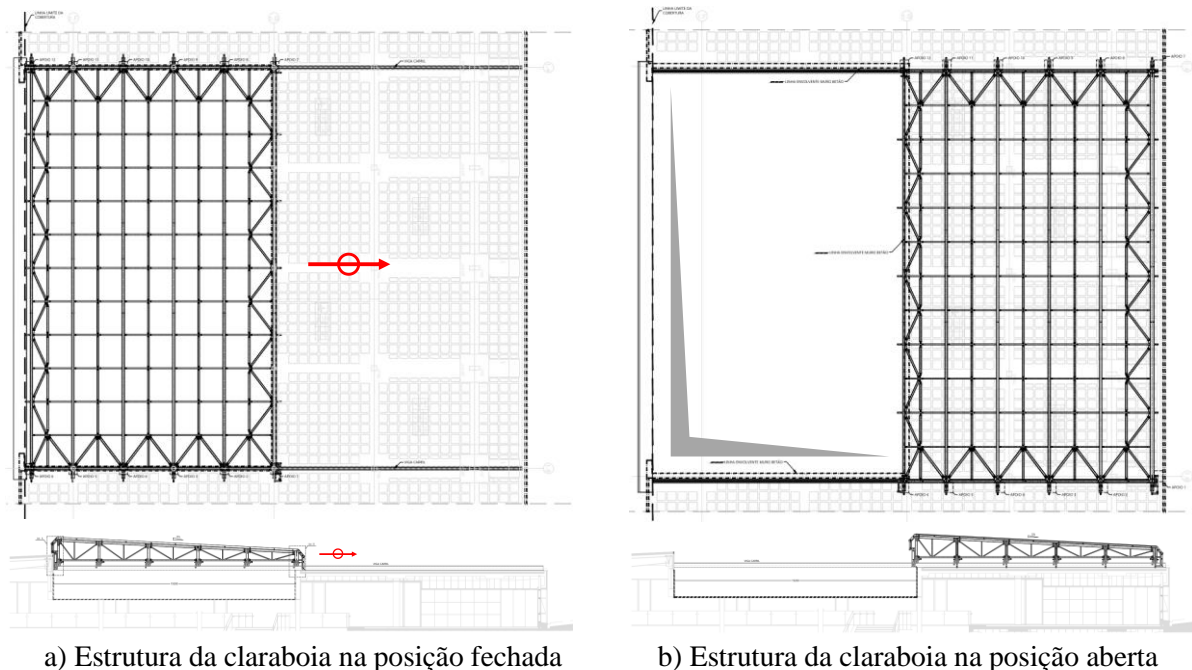
Os principais requisitos exigidos à estrutura são:

- Ser concebida por forma a que permita a sua movimentação sobre carris.
- Deformações compatíveis com os revestimentos, equipamentos e mecanismo de movimentação;
- Drenagem e estanqueidade compatíveis com a sua movimentação;
- Ventilação e climatização (conforto térmico);
- Resistência às sobrecargas de utilização, às ações climáticas e acidentais (sismo);
- O suporte dos revestimentos, vidro e painel sandwich;

Os pressupostos que regeram a conceção e dimensionamento da estrutura principal, secundária e dos revestimentos tiveram em conta as seguintes premissas:

- Não existem ligações ao exterior, a não ser nas rodas dos apoios dos carris;
- Os pontos de contacto com a restante estrutura são projetados para permitir a livre movimentação da claraboia;
- A velocidade de movimentação da claraboia é baixa para minimizar o acréscimo de esforços de inércia, devido a acelerações ou desacelerações e forças viscosas;
- Na posição fechada (em repouso) a claraboia está devidamente travada;
- Existem mecanismos automáticos que acionam a claraboia em situação de intempérie, ou ventos fortes, e a levam para a posição de repouso

A conceção estrutural, desta nova solução, centra-se no pressuposto que a referida cobertura seja móvel, para permitir a abertura do claustro. Para tal a estrutura da cobertura está assente em carris que, através de um sistema mecanizado, permitem que esta se desloque sobre a cobertura em betão armado, ver Fig. 2. Este pressuposto obriga a que a estrutura apenas possa ser apoiada nos dois lados, orientados com as vigas carril. Resulta ainda a condicionante que toda a estrutura deve figurar acima da estrutura que lhe dá apoio, para permitir o livre deslize da claraboia.



a) Estrutura da claraboia na posição fechada b) Estrutura da claraboia na posição aberta
Fig. 2: Vista em planta e alçado da estrutura metálica enquadrada com a envolvente de betão

Adotaram-se como elementos resistentes principais treliças tipo “Pratt”, compostas por perfis tubulares quer nas cordas quer nas diagonais, vencendo um vão de 31.2m, e com altura constante. No entanto, devido à pendente da cobertura (5%), a altura de cada uma das treliças varia entre 1.6 e 0.6m entre eixos das cordas, ver Fig. 3.

No sentido transversal foram consideradas duas treliças transversais, dispostas na periferia da claraboia, com altura variável, para estabilização das treliças principais, e resistir às ações horizontais perpendiculares à maior dimensão da claraboia. Estas treliças são constituídas por perfis tubulares na corda inferior e nas diagonais, e na corda superior por perfis IPE. No mesmo sentido foram ainda consideradas madres, de secção IPE, para apoio dos elementos de revestimento, vencendo um vão, entre treliças principais, de aproximadamente 4m, ver Fig. 3 b).

No plano da cobertura foram considerados elementos de contraventamento planos, em perfis tubulares, para permitir o travamento dos elementos comprimidos das treliças primárias e secundárias, e para resistir às ações horizontais, ver Fig. 3 a).

Para apoio dos revestimentos de “fachada”, e, devido à natureza móvel da claraboia, foi criado um sistema estrutural secundário, apenas apoiado na estrutura principal da claraboia, acompanhando a mesma no seu movimento de translação. Esta estrutura secundária foi concebida para ter em conta a compatibilização com a envolvente, assim como permite albergar o sistema mecânico que controla o movimento de toda a estrutura. Foi usado um sistema estrutural, constituído por elementos com secção tubular quadrada ligados rigidamente às cordas e montantes das treliças periféricas, e um sistema de travessas a ligar esses montantes para apoiar as madres em ómega (Ω) que por sua vez apoia o revestimento em painel metálico.

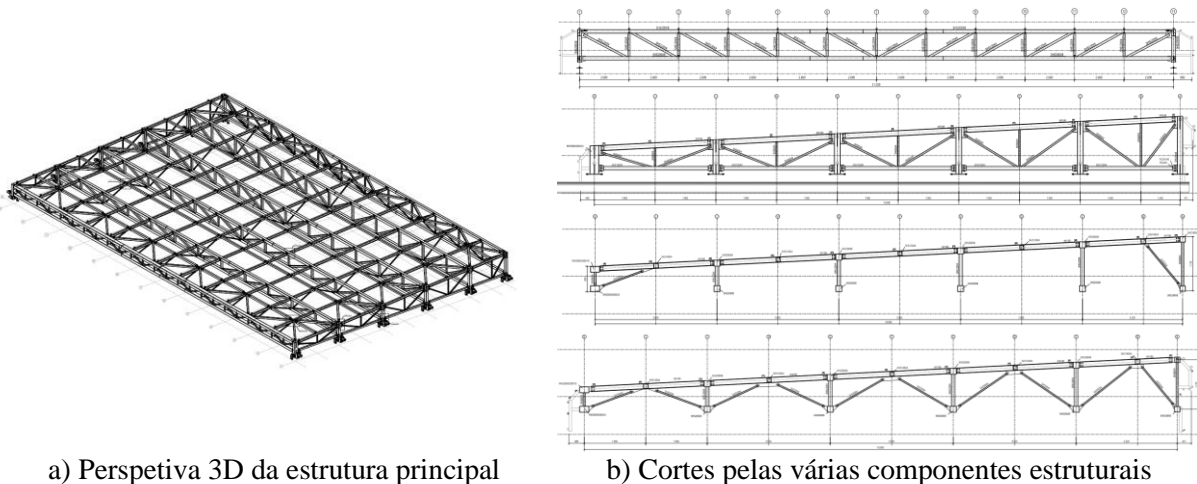


Fig. 3: Estrutura metálica principal da claraboia do claustro

Para a mobilidade da claraboia foi implementado um sistema de carris no seguimento das treliças secundárias nos extremos da claraboia. Os montantes das treliças são prolongados para encabeçar a peça mecânica com os rolamentos, desenvolvida pela Leirimetal. Foram definidas seis peças de rolamento, de cada lado da claraboia. Em cada um dos lados foi acoplado a duas das peças um motor de eixo horizontal, controlado automaticamente por um sistema integrado, ver Fig. 4. Cada peça de movimentação possui rolamentos adicionais na parte inferior dos banzos da viga carril para guiar e resistir às possíveis ações de levantamento. Os rodados possuem rodas de guia lateral de um dos lados da claraboia e do outro lado as rodas são lisas para permitir a livre dilatação da estrutura.

A opção, por parte do cliente / fornecedor, de um motor de eixo horizontal, que se projeta para o exterior da estrutura, condicionou a estrutura de suporte dos revestimentos, e como tal a largura total da claraboia em si, para ter capacidade de os acomodar.

3. Análise e dimensionamento

Foram criados dois modelos de cálculo individuais para a análise e dimensionamento dos elementos que compõem a estrutura principal e secundária, por norma realizados através do Software *Autodesk Robot Structural Analysis* [2], que permite a realização de análises lineares ou não-lineares geométricas por modelos de barras ou placas utilizando o método dos elementos finitos (MEF). Para análises específicas de ligações e detalhes construtivos foram utilizados outros softwares dedicados e folhas de cálculo desenvolvidas para o efeito.

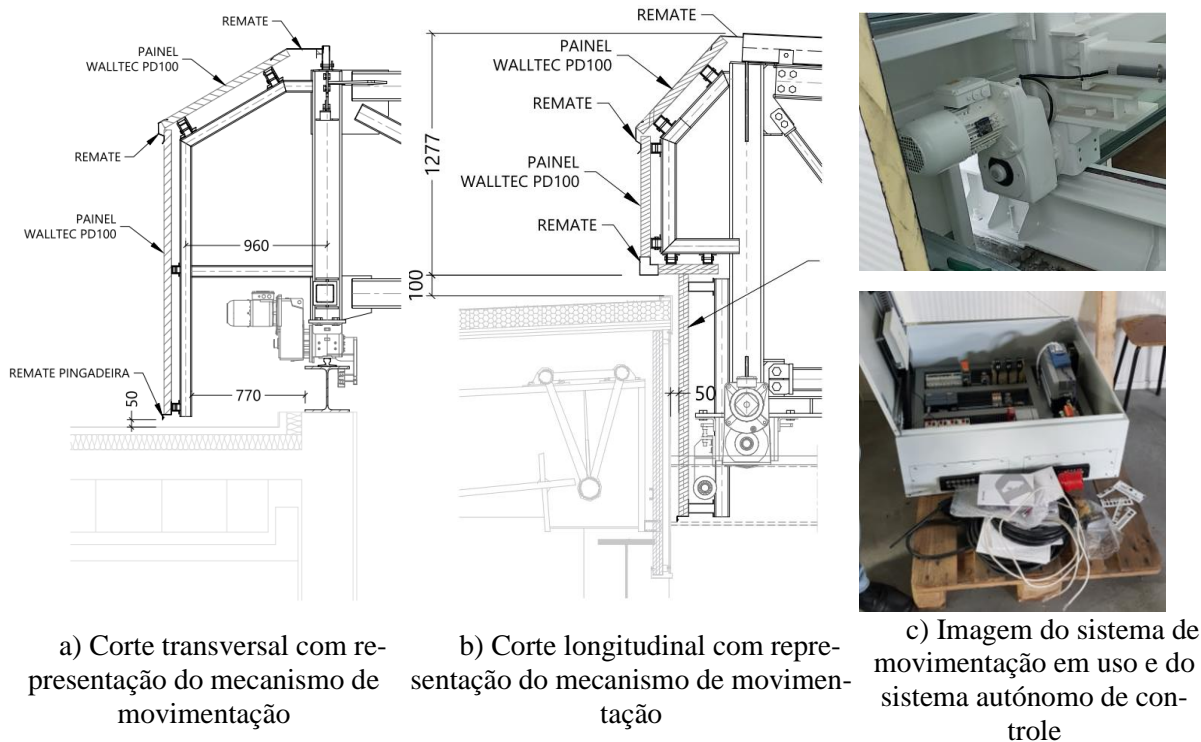


Fig. 4: Detalhes do sistema de movimentação da claraboia

As ações gravíticas e climatéricas consideradas seguiram as prescrições da EN 1991-1 [3]. As principais ações consideradas são: a sobrecarga regulamentar de cobertura; a ação da temperatura; e a ação do vento, que tendo em conta a localização e a altura a que se encontra a claraboia se revelou bastante condicionante para o dimensionamento da estrutura, mas principalmente dos contraventamentos. Além das ações exteriores, os contraventamentos, este foram concebidos para suportar as forças de instabilização das cordas comprimidas das treliças, através da consideração de forças equivalentes de desvio das cordas e devidas às imperfeições. A natureza dos apoios móveis e a sua localização contribuíram para tornar estes esforços significativos para o dimensionamento dos elementos da estrutura.

A ação sísmica seguiu as prescrições da EN1998-1 [4], tendo sido realizada uma análise espectral multimodal, em que a ação foi definida para um solo tipo B, um coeficiente de amortecimento de 5% e uma classe de importância III, aumentando o período de retorno de 475 para 821 anos, e consequentemente a aceleração de pico no solo. Devido à natureza da estrutura e dos seus apoios foi considerado um coeficiente de comportamento de 1.5 associado a uma estrutura não dissipativa. Não houve necessidade de considerar a componente vertical da ação sísmica, de acordo com as recomendações da EN1998-1 [4], pois a acelerações de pico é inferior a 0.25g. A ação sísmica revelou-se condicionante para o dimensionamento dos apoios, da estrutura e da viga carril.

4. Detalhe e modelação para a execução

Após o dimensionamento da estrutura, realizado em modelos lineares de barras, traduzidas pelos eixos das peças, é necessário proceder à materialização e verificação do detalhe de ligações, e interligação dos elementos que constituem a estrutura. A conceção desses detalhes são fundamentais para permitir que a estrutura idealizada respeite:

1. A arquitetura, deverão estar enquadrados com os conceitos de conceção, e serem proporcionais às solicitações e restante estrutura;
2. As condições da sua análise e dimensionamento, ou seja, capacidade de transferência dos esforços, idealização de articulações e rigidez adequada, compatível com as deformações consideradas, ver alguns desses detalhes na Fig.5;
3. Os requisitos funcionais, não podendo interferir nem com a mobilidade da claraboia, a estanqueidade ou os requisitos dos revestimentos.

A modelação tridimensional da estrutura, geralmente em Teka [5], constitui um dos desafios mais importantes na tradução e compatibilização do que foi idealizado, quer arquitetonicamente quer ao nível do cálculo estrutural num modelo global, ver Fig. 6. Integrando desta forma todas as vertentes analisadas nesse modelo, e particularizando todos os elementos necessários para aquisição de matéria prima, fabrico da estrutura metálica, revestimentos e procedimentos de montagem.

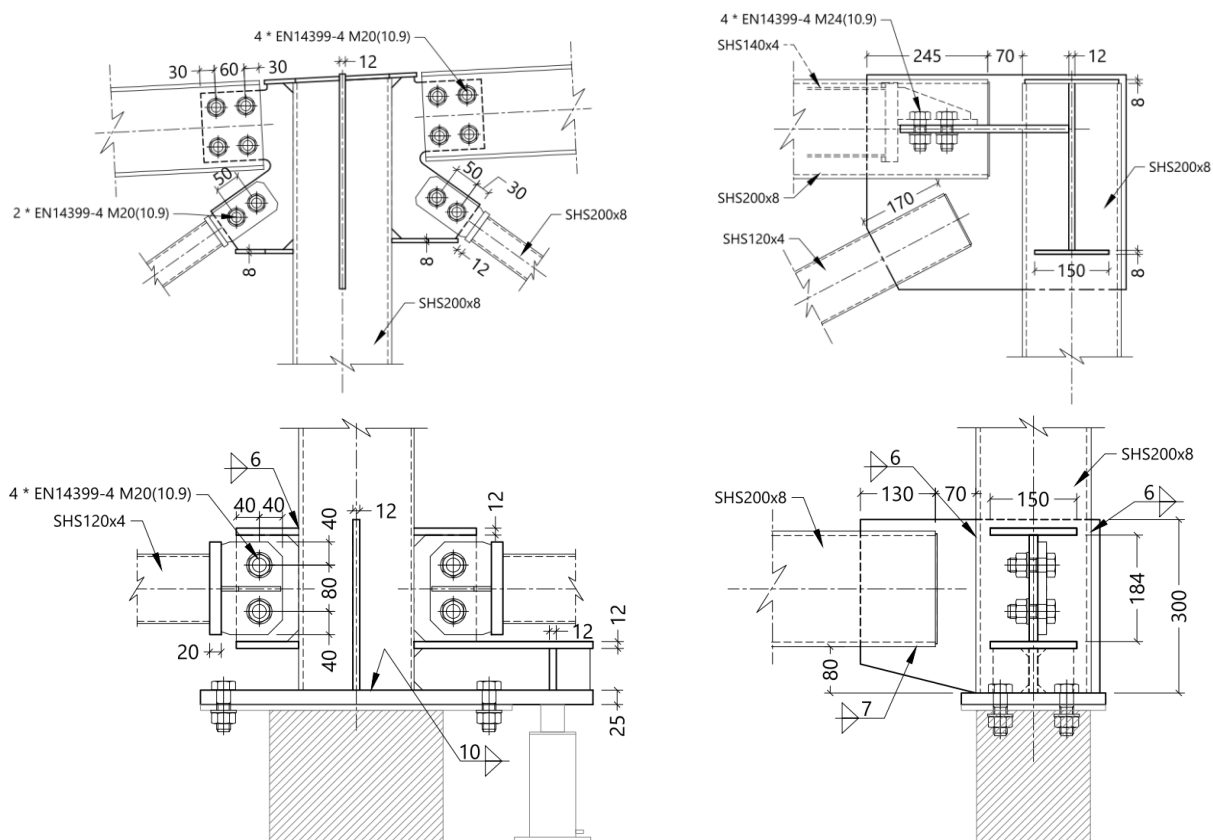
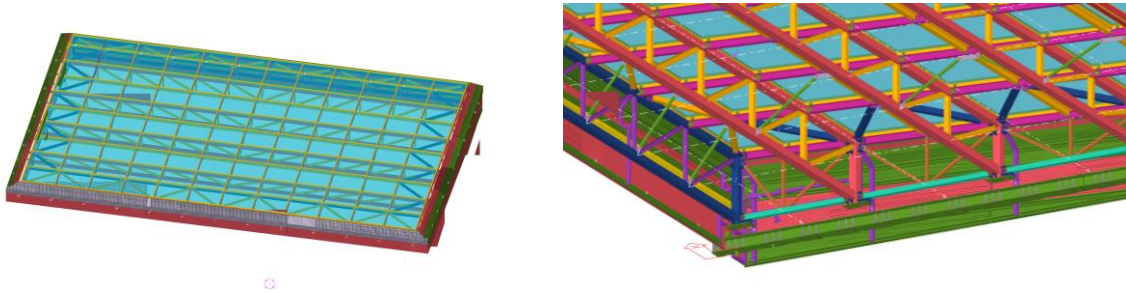


Fig. 5: Detalhes de ligação dos vários elementos da estrutura.

Esta integração BIM 3D durante a modelação, permite que sejam detetadas várias incompatibilidades que obrigam ao ajuste do dimensionamento, e até de procedimentos em fábrica e em obra. O facto de a estrutura ser revestida a painel sandwich aliado à sua mobilidade, tornaram

bastante complexa a compatibilização dos revestimentos com a forma e a estrutura de suporte, que só com a modelação integrada se tornou possível.

Devido ao facto de a estrutura integrar elementos de desgaste, como as rodas que permitem o movimento, deixou-se a estrutura preparada para ser elevada, permitindo a substituição das rodas, ou a manutenção dos motores. Ver na Fig. 5 o detalhe do elemento deixado no montante, que encabeça a peça com as rodas, para a colocação de macaco hidráulico para a sua elevação.



a) Vista 3D do modelo global da estrutura, com a integração com os revestimentos b) Vista inferior do modelo onde se podem ver detalhes de ligações

Fig. 6: Modelação tridimensional recorrendo ao Tekla Structures [5]

5. Fabrico e montagem

A estrutura analisada faz parte de um pacote em conceção-construção a cargo da parceria Faustino & Ferreira S.A (fabrico) e gabinete técnico associado.

Muitos foram os desafios que se puseram durante o projeto para ter em conta, quer os meios disponíveis em fábrica, os meios de transporte quer os meios no estaleiro. A Tabela 1 sintetiza as considerações a ter em conta durante a conceção e o dimensionamento.

Tabela 1: Considerações durante a conceção e dimensionamento das estruturas

Fabrico	Processos de fabrico disponíveis
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Em fábrica – adoção de soluções estruturais compatíveis ▪ Em obra – possibilidade de soldadura em obra (devido ao transporte)
	Adoção de soluções que minimizem processos manuais
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soldaduras ▪ Entalhes (inclui preparação de chanfres)
Montagem	Transporte
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ligações adicionais (ex. emendas soldadas em obra das treliças principais) ▪ Aprovisionamento ▪ Planeamento e otimização das cargas
	Meios de elevação disponíveis
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixos na obra → alcance/capacidade de carga → montagem parcelar em cavaletes e elevação para a posição ▪ Móveis ou manuais
	Necessidade de estruturas de apoio temporárias com pré-montagem de segmentos
	Faseamento e compatibilização com as estruturas de suporte da estrutura metálica e estruturas envolventes (ex. caminho de rolamentos)

Na Fig. 7 podem observados alguns elementos em fabrico com elevado grau de complexidade, no entanto adaptados e otimizados para os processos disponíveis. Na Fig. 8 a) é possível ter uma perspetiva do local de implantação da estrutura da claraboia e o seu enquadramento com as restantes estruturas, metálicas ou betão armado. Na Fig. 9 estão ilustradas algumas operações de montagem, condicionadas pela disponibilidade dos meios da obra, pelas operações de pré-montagem das treliças principais, emendadas em obra, pela natureza dos apoios em rodados, em que a autoestabilização só é conseguida após a montagem de pelo menos quatro apoios e pelo faseamento dos elementos a montar.



a) Armação e preparação da viga carril



b) Armação e soldadura das treliças principais



c) Detalhe de ligação

Fig. 7: Operações de fabrico.



a) Local de implantação da claraboia e estruturas envolventes



b) Perspetiva da claraboia terminada na posição de repouso

Fig. 8: Imagens do enquadramento da claraboia em obra e final



a) Expedição da estrutura metálica para a obra



b) Pré-montagem das vigas treliça das claraboias



c) Montagem faseada no local

Fig. 9: Operações de montagem.

6. Principais conclusões

A conceção, dimensionamento, modelação, fabrico e montagem da estrutura metálica da claraboia do claustro do novo campus da Universidade Nova, School of Business & Economics, situado em Carcavelos, Cascais, levado a cabo pela equipa de projeto, preparação, fabrico e montagem, representou uma oportunidade e um desafio à capacidade técnica da equipa envolvida.

Em jeito de conclusão, enumeram-se de seguida, os principais fatores a ter em conta em projetos complexos:

1. A conceção e dimensionamento de estruturas em edifícios é multidisciplinar;
2. A integração e interação com a envolvente exige capacidade de idealizar várias soluções e de as conceber;
3. Existem múltiplas ferramentas capazes de ajudar nas tarefas de compatibilização, dimensionamento e detalhe → BIM que permitem ter uma visão mais detalhada das soluções adotadas, e uma integração dos elementos envolvidos;
4. É importante ter em consideração na fase de conceção as limitações existentes em obra nomeadamente os meios de elevação, acessos e possibilidade de colocação de estruturas de apoio temporárias;
5. É necessário ter em atenção aos condicionalismos de base, como o facto da mobilidade da claraboia, pois todas as soluções devem contemplar e respeitar esses princípios;
6. A produção das peças do projeto devem conter a informação necessária e suficiente para uma correta interpretação, das metodologias e opções tomadas, quer nas peças escritas quer nas peças desenhadas, que cada vez mais devem ser integradas e compatibilizadas, em consonância com o ponto 3;
7. A integração com as várias equipas técnicas envolvidas é fundamental para o correto funcionamento, como por exemplo a integração com a equipa da mecânica dos rolamentos.

Na Fig. 10 estão representadas a claraboia terminada, em situação fechada, em repouso, Fig. 10 (a), e em uso, situação em que está aberta, total ou parcialmente, como se pode ver na Fig. 10 (b), durante a inauguração do edifício.



a) Vista do interior do claustro com a claraboia finalizada na posição de repouso



b) Claraboia em uso em posição entreaberta

Fig. 8: Vista da claraboia finalizada

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a colaboração e apoio da Faustino e Ferreira Sociedade Construções Metálicas, S.A. e às respetivas equipas envolvidas: Ricardo Faustino, Pedro Bilro, Élio Simões, Nuno Silva e demais envolvidos neste projeto.

Referências

- [1] Augusto H. *Conceptual Design of a Basketball Sports Hall for Académica – Intensive Use of Structural Tubes*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2011.
- [2] Robot Structural Analysis Professional 2018. *Software*. São Rafael, California, USA: Autodesk, Inc.
- [3] EN 1991-1. *Eurocode 1: Ações em estruturas*. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 2009.
- [4] EN 1998-1. *Eurocode 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos – parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios*. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 2010.
- [5] Tekla Structures 2017. *Software*. Espoo, Finlândia: Trimble.