



# **Acompanhamento de projeto e direção de obra da central da companhia energética Engie em Paris**

Mestrado em Construções Civas

Hudson Ricardo Langer de Oliveira

Leiria, março de 2024



# **Acompanhamento de projeto e direção de obra da central da companhia energética Engie em Paris**

Mestrado em Construções Civas

Hudson Ricardo Langer de Oliveira

Estágio realizado sob a orientação do Professor Doutor Luís Carlos Prola

Leiria, março de 2024

## **Originalidade e Direitos de Autor**

O presente relatório de estágio é original, elaborado unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para o elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de mestrado em 2021, no ano letivo 2023/2024 da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos (se aplicável).

## Agradecimentos

A todos os professores, colegas de sala e minha amada família.

É com imensa gratidão que dedico este trabalho a cada um de vocês, que desempenharam um papel fundamental na minha jornada acadêmica no Politécnico de Leiria.

Aos meus estimados professores, expresso meu profundo reconhecimento pela dedicação, orientação e conhecimento compartilhado ao longo dos meus estudos de mestrado. Suas aulas, orientações e insights foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional. Cada um de vocês deixou uma marca em minha formação, despertando minha curiosidade, incentivando minha busca pelo conhecimento e moldando minha perspectiva sobre o mundo.

Aos meus queridos colegas de sala, compartilhamos momentos intensos de aprendizado, colaboração e amizade. Juntos, enfrentamos desafios, superamos obstáculos e crescemos como indivíduos e profissionais. O apoio mútuo, as discussões enriquecedoras e as experiências compartilhadas contribuíram imensamente para o meu amadurecimento acadêmico e pessoal. Sou grato por cada um de vocês fazer parte desta jornada.

Por último, mas certamente não menos importante, a minha família, quero expressar meu amor e gratidão pelo apoio incondicional ao longo deste percurso. Vocês estiveram ao meu lado, encorajando-me nos momentos de dúvida, celebrando minhas conquistas e acreditando no meu potencial. Seu amor, paciência e compreensão foram essenciais para que eu pudesse dedicar-me plenamente aos meus estudos e alcançar este marco em minha vida acadêmica.

A todos vocês, professores, colegas e família, o meu mais sincero agradecimento. Vocês foram fonte de inspiração, suporte e motivação ao longo dessa jornada desafiadora. Seu impacto em minha vida vai além das palavras e permanecerá para sempre em meu coração.

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo principal compartilhar e detalhar a rica experiência adquirida durante um estágio significativo na área de direção de obra, com ênfase no desafiador campo das estruturas metálicas. O estágio em questão foi realizado na prestigiada empresa "Acietec," que atua no segmento de construções metálicas e está sediada na icônica cidade de Paris, França. A relevância desse estágio é enfatizada pela sua extensão, abrangendo um período de seis meses, e pelo valor expressivo da obra em que estive envolvido, com um investimento que ultrapassa os 5 milhões de Euros nos elementos metálicos.

O objetivo do estágio foi de acompanhar todos os processos e etapas envolvidas em uma obra de elementos metálicos, desde acompanhamento do projeto até a etapa final de controles de qualidades da montagem.

Aborda-se no trabalho (i) a modelação estrutural de todos os elementos através do programa TRIMBLE, (ii) O planeamento da obra o qual compreende os prazos dos estudos, modelação, fabrico, transporte e montagem, (iii) a organização do transporte que prevê a reserva de camiões pelo menos 2 semanas antes das entregas, (iv) a etapa de montagem dos elementos metálicos e todo o processo para chegar até ela, como a impressão dos projetos, compra dos elementos de fixações, entre outros, (v) a experiência de realizar comunicação direta com os clientes, e (vi) a realização de controles de qualidades.

Este trabalho não apenas reflete a jornada pessoal de aprendizado e crescimento que foi vivenciado durante o estágio, mas também pode servir como uma fonte de conhecimento e referência para aqueles que desejam explorar o campo da direção de obra em projetos de estruturas metálicas de grande envergadura.

**Palavras-chave:** ‘‘Estruturas metálicas’’, ‘‘Direção de obra’’, ‘‘Modelação estrutural’’, ‘‘Estágio’’, ‘‘Projeto’’

## Abstract

The main aim of this paper is to share and detail the wealth of experience gained during a significant internship in the field of construction management, with an emphasis on the challenging field of steel structures. The internship in question was conducted at the prestigious company "Acietec," which operates in the metal construction sector and is based in the iconic city of Paris, France. The relevance of this internship is emphasized by its length, covering a period of six months, and by the significant value of the work in which I was involved, with an investment of over five million euros on metallic elements.

The aim of the internship was to follow all the processes and stages involved in a metal elements project, from monitoring the project to the final assembly quality control stage.

The lessons learned were. (i) structural modeling of all the elements using the TRIMBLE program, (ii) the planning of the work, which includes the deadlines for studies, modeling, manufacture, transport, and assembly, (iii) the organization of transport, which involves reserving trucks at least two weeks before deliveries, (iv) the assembly stage of the metal elements and the entire process to get there, such as printing the designs, buying the fasteners, etc. , and (vi) the experience of communicating directly with clients.

This work not only reflects the personal journey of learning and growth that was experienced during the internship, but also can serve as a source of knowledge and reference for those who wish to explore the field of construction management in large-scale metal structures projects.

Keywords: "Steel structures", "Construction management", "Structural modeling", "Internship", "Project"

# Índice

<b>Originalidade e Direitos de Autor .....</b>	<b>3</b>
<b>Agradecimentos.....</b>	<b>4</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>8</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Estrutura do Relatório .....</b>	<b>13</b>
<b>2. Caracterização da Entidade de Acolhimento.....</b>	<b>14</b>
<b>3. Programa de Estágio .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Etapa 1 – Modelação gráfica .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2. Etapa 2 – Planeamento e Reorçamentação .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Etapa 3 – Acompanhamento de obra Campus Engie.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Campus Engie.....	19
3.3.2. – Acompanhamento do projeto e modelação .....	23
3.3.3. Acompanhamento do fabrico.....	29
3.3.4. Acompanhamento da montagem .....	36
3.3.5. Controle de Qualidade .....	55
<b>4. Conclusão .....</b>	<b>60</b>
<b>5. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo A.....</b>	<b>64</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Guarda-corpo meio nível (fonte: Autor).....	17
Figura 2 - Tubulação de águas pluviais (fonte: autor).....	18
Figura 3 - Campus Engie (Fonte : Bouygues construction, 2023) .....	20
Figura 4 - Implantação do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023).....	20
Figura 5 - Plano do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023).....	21
Figura 6 - Componentes do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023).....	22
Figura 7 – Terraços (Fonte: Bouygues construction, 2023) .....	22
Figura 8 - IFC do projeto (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	24
Figura 9 - Modelação A2 (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	24
Figura 10 - Estrutura metálica do A2 (Fonte: Software Tekla, 2023).....	25
Figura 11 Viga ligada ao Betão 1 (Fonte: Software Tekla, 2023).....	25
Figura 12 - Viga ligada ao Betão 2 (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	26
Figura 13 - Ligação viga-viga (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	26
Figura 14 - Ligação viga-viga 2 (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	27
Figura 15 - Ligação metal-madeira (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	27
Figura 16 - Ligação metal-madeira 2. (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	28
Figura 17 - Reforço da viga (Fonte: Software Tekla, 2023).....	28
Figura 18 – Cantoneiras (Fonte: Software Tekla, 2023) .....	29
Figura 19 - Listagem de elementos de fabricação (Fonte: Faustino e Ferreira) [12].....	30
Figura 20 - Plano de fabrico B93IH1 (Fonte: Autor) .....	31
Figura 21 - Plano de fabrico B93IH1 (Fonte: Autor) .....	32
Figura 22 - Furação de perfil (Fonte: Autor).....	32
Figura 23 - Máquina à Laser (Fonte: Autor) .....	33
Figura 24 - Chapas cortadas e furadas (Fonte: Autor).....	33
Figura 25 - Perfil soldado (Fonte: Autor).....	34
Figura 26 - Perfil Soldado 2 (Fonte: Autor) .....	35
Figura 27 - Viga com primário (Fonte: Autor).....	36
Figura 28 - Pilar de recebimento do chumbador (Fonte: Autor) .....	37

Figura 29 - Manilha parafusada a viga (Fonte: Autor).....	39
Figura 30 - Manilha soldada (Fonte: Autor).....	40
Figura 31 - Viga sendo levada pela grua (Fonte: Autor).....	40
Figura 32- Chumbador em posição (Fonte: Autor).....	41
Figura 33 - Verificação da face do chumbador em relação a face do betão (Fonte: Autor).....	42
Figura 34 - Viga ligação Ferro-Madeira (Fonte: Autor).....	43
Figura 35 - Furos pré feitos nas vigas de madeira (Fonte: Autor).....	44
Figura 36 - Ligação aço-aço (Fonte: Autor).....	45
Figura 37 - Ligação aço-aço 2 (Fonte: Autor).....	45
Figura 38 - Ligação aço-aço 3 (Fonte: Autor).....	46
Figura 39 - Ligação aço-betão (Fonte: Autor).....	46
Figura 40 - Equipa dos parafusos (Fonte: Autor).....	47
Figura 41 - Suporte de GC soldado em obra (Fonte: Autor).....	48
Figura 42 - Guarda corpos (Fonte: Autor).....	49
Figura 43 - Rede de segurança (Fonte: Autor).....	49
Figura 44 - Chapa colaborante (Fonte: Autor).....	50
Figura 45 Chapa colaborante 2 (Fonte: Autor).....	50
Figura 46 - Chapa cortada (Fonte: Autor).....	51
Figura 47 - Suporte do pilar da casa de máquinas (Fonte: Autor).....	51
Figura 48 – Remate de bordadura (Fonte: Autor).....	52
Figura 49 - Chapa com armadura (Fonte: Autor).....	52
Figura 50 - Laje betonada (Fonte: Autor).....	53
Figura 51 - Montagem dos pilares da casa de máquinas (Fonte: Autor).....	54
Figura 52 – Casa de máquinas montada (Fonte: Autor).....	55
Figura 53 - NCR 1, modelação (Fonte: Software Tekla, 2023).....	56
Figura 54 - NCR 1, local (Fonte: Autor).....	56
Figura 55 - Chumbador em obra (Fonte: Autor).....	57
Figura 56 - Chumbador em projeto (Fonte: Software Tekla, 2023).....	57
Figura 57 - Inclinação Norma 1090-2 (Fonte: Norma 1090-2 [14]).....	58
Figura 58 - Nível norma 1090-2 (Fonte: Norma 1090-2 [14]).....	59

Figura 59 - Parafusos com X (Fonte: Autor).....59

## **Abreviaturas**

BIM – Building Information Modeling

ABCEM – Associação Brasileira da Construção Metálica

IFC – Industry Foundation Classes

PPSPS - Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (plano particular de segurança e de proteção a saúde)

IAB – Instituto Aço Brasil

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

# 1. Introdução

O presente trabalho visa apresentar a experiência adquirida durante um estágio profissional com a duração de seis meses, realizado como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no ano de 2023 no Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas, do Instituto Politécnico de Leiria.

A motivação da realização desse estágio foi a oportunidade de estabelecer uma conexão entre os conhecimentos adquiridos nas salas de aula com as situações do cotidiano de uma obra, aprimorando, assim, as habilidades para o futuro. Além disso, o estágio proporcionou a oportunidade de compreender o processo completo, desde o início até o término de uma construção, e de aprender a utilizar softwares que facilitam as atividades diárias no setor.

A entidade de acolhimento é uma empresa especializada no ramo de estruturas metálicas, o que tornou a disciplina de Estruturas Metálicas e Mistas, ministrada no Curso de Mestrado, especialmente relevante e aplicável na experiência prática pessoal.

Devido a natureza do estágio voltado ao direcionamento de obra, tem-se contato com muitas áreas da construção metálica. Neste contexto, serão abordadas as seguintes áreas no decorrer do trabalho: os estudos para dimensionamento da estrutura, modelização da estrutura para fabrico, modo de fabrico, estudo de montagem da estrutura, organização do material e transporte até a obra e acompanhamento da montagem.

## 1.1. Objetivos

Antes da realização do estágio, foram estabelecidos os seguintes objetivos a serem cumpridos:

- Treinamento do Software de Modelação TEKLA [1];
- Aprendizado de planeamento de uma obra;
- Comparação de conhecimentos teóricos com os práticos encontrados em obra;
- Compreensão as etapas realizadas por um diretor de obra no ramo de estruturas metálicas.

## **1.2.Estrutura do Relatório**

O relatório está estruturado em 4 capítulos seguido das referências bibliográficas e um anexo.

No capítulo 1 faz-se a Introdução do assunto, apresentando-se as motivações envolvidas na escolha da realização do estágio e sucintamente apresenta a empresa acolhedora.

Depois da caracterização da empresa de acolhimento, que detalha a empresa onde foi realizado o estágio e apresenta um pouco de sua história e seus clientes no capítulo 2, o capítulo 3 descreve o Programa de Estágio, voltado a mostrar as atividades realizadas no decorrer do estágio, desde o início do projeto até a conclusão do mesmo.

A seguir, no capítulo 4 apresenta-se a Conclusão, que define o que se foi aprendido e se o trabalho teve seu objetivo realizado.

## 2. Caracterização da Entidade de Acolhimento

A entidade de acolhimento foi a ACIETEC Constructions & Revêtements Métallique [2], que faz o fornecimento e montagem de estruturas e revestimentos metálicos e tem sede localizada na cidade de Gretz-Armainvilliers, 77220 na Île-de-France – França.

A empresa foi fundada em 2011 como um projeto de internacionalização do grupo Novagente. Desde 2022 a empresa vem passando por uma reestruturação total, englobando o quadro de funcionários e os processos internos utilizados nas construções. Hoje a empresa conta com uma faturação bruto de 5,5 milhões em 2023 com expectativas de faturar 9 milhões em 2024.

A Acietec tem como missão ser um balcão único, oferecendo aos clientes uma solução de construção e logística totalmente integrada e de alta qualidade, agregando valor a todas as partes interessadas.

Hoje a empresa tem 2 diretores, sendo um administrativo e um técnico comercial, três engenheiros, uma assistente administrativa, uma assistente financeira e 20 montadores. A média etária da empresa na parte administrativa é de pôr volta dos 30 anos e da equipa montagem por volta de uns 40 anos.

Os maiores clientes atuais das empresas são:

- Bouygues Construction [3] - Faturou 284 Milhões em 2022.
- Leon Grosse – Faturou 800 Milhões em 2022.
- Spie Batignolles – Faturou 285 Milhões em 2022.

Mesmo na fase de orçamentação, a empresa deve-se portar como um conselheiro ao cliente, tentando observar pontos para economizar o valor que o cliente deve investir. Refira-se que nem sempre o menor preço é o que ganha, mas sim a empresa que tem um preço competitivo e um serviço de qualidade.

Ao receber um pedido de orçamento, o responsável pela orçamentação deve analisar todos os itens junto com um conselheiro da parte de projetos para decidir quais são todos os pontos que podem ser otimizados, podendo ser eles através da redução dos perfis empregados. Neste caso, o conselheiro de projetos fica responsável de realizar os cálculos para poder confirmar se a redução pode ser adotada ou não.

Após a fase de orçamentação e com o projeto em mãos, fica a cargo do diretor de obra analisar todos os itens e encontrar alternativas mais baratas para os mesmos, enviando assim desenhos técnicos e fichas técnicas ao cliente para validação.

Com os elementos validados, segue-se para a compra e para o fabrico dos perfis metálicos. No caso da estrutura metálica, tem-se o processo de fabrico, o qual é descrito no item 3.3.3.

É muito importante o acompanhamento de todas as etapas pelo diretor de obra, sendo ele o encarregado de tratar de todas as dificuldades e prazos, englobando as entregas, a preparação de material, a disponibilizar os desenhos de montagens as equipas, garantir que as máquinas empregadas para os trabalhos estejam na construção e ter reuniões semanais com o cliente quanto ao decorrer da obra.

## 3. Programa de Estágio

O programa foi estruturado em etapas, para facilitar o entendimento de cada tarefa, as quais são citadas a seguir.

### 3.1. Etapa 1 – Modelação gráfica

A primeira competência desenvolvida na empresa foi o uso do programa Tekla Structures [1]. O Tekla é um software desenvolvido pela empresa Trimble para a modelação de estruturas, permitindo criar um projeto do zero e gerar planos para a produção das peças.

O Tekla usa o modelo BIM, que é um processo de gestão de informações em um projeto de construção em toda sua duração. Basicamente reúne as informações, criando um modelo 3d digital que permite a interação de todos os elementos do projeto, evitando assim casos de incompatibilidade de elementos e possibilitando a previsão de erros devido a falta de informação sobre outros elementos. O modelo permite uma otimização do tempo e custos do projeto.

Na construção metálica a ferramenta BIM é essencial, pois permite ao projetista encontrar soluções mais económicas para o projeto, além de evitar futuros problemas por conta dos outros elementos não metálicos da construção. O programa disponibiliza uma lista de todos os elementos necessários para fabrico, como a quantidade dos perfis empregados, quantidade de fixações e desenhos de fabrico, que englobam os cortes e soldas que devem ser realizados para obter os elementos metálico final. a importância de tal ferramenta para a construção é destacada por diversos autores.

ADDOR et al [4] dizem que a modelação de informação da construção muda completamente o processo de projeto e construção, saindo de uma realidade bidimensional para uma n-dimensional. Isto enfatiza a necessidade da utilização de ferramentas de modelação automatizada dos processos que conduzem à produção e construção de estruturas metálicas.

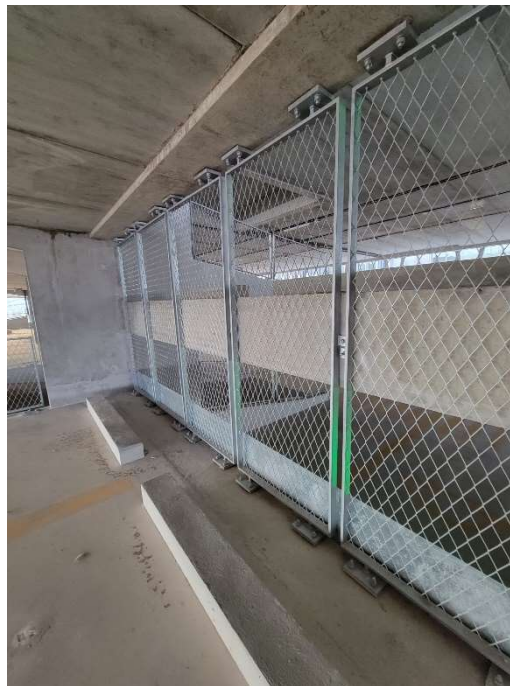
De acordo com EASTMAN et al. [5] o BIM representa uma grande mudança de paradigma que trará grande impacto e benefícios não apenas para a indústria da construção, mas para a sociedade como um todo, já que as obras são executadas com menor consumo de materiais, menos trabalho e menor custo.

É possível ver os benefícios que tal ferramenta traz para a construção, desde diminuição de material empregado a certezas de compatibilização dos vários elementos, sendo um exemplo a garantia que uma tubulação passe bem em um local designado. Tudo isso só é possível quando todos os aspetos do projeto se encontram modelados.

De acordo com as orientações da direção da empresa Acietec, todo diretor de obra deve ter habilidades de modelação para conceber soluções que facilitem a etapa de montagem e otimizem o peso da estrutura, visto que o peso tem um impacto direto no custo da estrutura metálica e nas emissões de carbono na atmosfera.

Durante esta fase de aprendizado, foi realizada a remodelação de um pavilhão industrial de pequeno porte, o qual não tem qualquer envolvimento com o projeto da Engie, abrangendo diversos elementos como pilares, vigas da estrutura principal, escadas, portão, madres, entre outros componentes.

Cita-se aqui um exemplo, de um projeto de construção e montagem de guarda-corpos em um estacionamento de 7 pisos, que não havia projetos de tubulações antes da modelação dos guarda-corpos, ocorrendo assim erros na etapa de construção já que foram instaladas as tubulações onde estavam previstos os guarda-corpos e dois elementos não conseguem ocupar o mesmo espaço. Percebe-se na imagem 1, como deveriam ficar os guarda-corpos e na imagem 2, como a tubulação ficou no lugar que o guarda-corpo deveria estar.



**Figura 1 - Guarda-corpo meio nível (fonte: Autor)**



**Figura 2 - Tubulação de águas pluviais (fonte: autor)**

Esse é um exemplo prático de um problema que poderia ter sido evitado caso o projeto de tubulações de águas pluviais estivesse no modelo BIM.

A experiência do preparador também é muito importante nessa etapa. Por se tratar de elementos 3D, nem sempre o que é idealizado, é possível aplicar em realidade. Por exemplo, na fixação de um parafuso em algum dos elementos, uma pessoa sem experiência não consegue perceber o espaço que deve deixar para o acesso da máquina de aperto, ou até mesmo acesso à porca na parte de trás da fixação.

### **3.2.Etapa 2 – Planeamento e Reorçamentação**

Nesta etapa, fez-se a coordenação de um projeto no qual a Acietec forneceu o material de aço, mas não contava com equipes de montagem para a execução da obra. Assumiu-se a coordenação do transporte do material da oficina metalomecânica em Portugal até o local da obra em Paris. Além disso, participou-se, no âmbito do estágio, das negociações de transporte para garantir que o custo final do aço não ultrapassasse o valor orçamentado. A obra teve um total de 77,6 toneladas de aço.

Por tratar-se de uma obra sem montagem, o planejamento foi uma fase simplificada, pois normalmente o planejamento deve englobar toda a fase de projeto, fabrico, transporte e montagem dos elementos. Pode-se dizer que o planejamento é uma das fases mais importantes, pois é nele que se prevê a quantidade de trabalhadores necessários para cada tarefa e os materiais necessários para evitar problemas na hora da execução.

Para a reorçamentação, foi feito usando uma comparação dos elementos orçados na fase de negociação dos projetos pelo responsável de orçamentos, com as consultas de preços realizadas posteriormente pelo engenheiro encarregado da obra, a qual é importante no sentido de encontrar o melhor custo-benefício possível, pensando sempre nos prazos, obtendo assim o desvio financeiro da obra, que é a diferença dos valores orçados inicialmente com os valores reais utilizados. A reorçamentação deve ser realizado com informações de preços de pelo menos 3 empresas, idealmente 5, para ter-se uma melhor negociação na hora de comprar os materiais

No caso desse projeto, pode-se considerar que mais de 98% dos elementos englobados foram fabricados pela fábrica da Faustino e Ferreira.

### **3.3.Etapa 3 – Acompanhamento de obra Campus Engie**

A atividade que mais consumiu tempo durante o estágio foi o acompanhamento da construção do novo quartel-general da empresa Engie em Paris. Nessa função, esteve-se diretamente envolvido em todos os aspetos da construção de estruturas metálicas, desde a fase inicial de planejamento do projeto até a fase de montagem. Devido à extensão dessa responsabilidade, esse tema será subdividido em várias etapas, cada uma representando uma atividade específica.

#### **3.3.1. Campus Engie**

O projeto Campus Engie, conforme mostra a figura 3, recebeu esse nome por ser o novo quartel-general da empresa Engie, que de acordo com a Power Technology [6], é a sexta maior empresa de energia do mundo. A Engie é uma empresa de renome na distribuição de energia e gás natural.



Figura 3 - Campus Engie (Fonte : Bouygues construction, 2023)

O projeto tem como etapa inicial a construção de 4 edifícios de escritórios, uma área central e um polo energético, conforme está ilustrado na figura 4. Uma etapa futura, que foi adiada devido à pandemia do Covid, terá outros 2 edifícios de escritórios.



Figura 4 - Implantação do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023)

Os edifícios foram designados por letras e números (A1, A2, B1 e B2), como pode-se ver na figura 5, e a sua construção seguiu essa mesma sequência.

O edifício A1 possui 2 pisos subterrâneos, o rés-do-chão e 7 pisos, além da cobertura, que contém o compartimento técnico. Até o 4º piso, o edifício é composto exclusivamente por

elementos de betão e metal. A partir do 4º piso, as paredes são de betão, enquanto pilares e parte das vigas são de madeira, e o restante das vigas e o suporte da laje são feitos em aço.

O edifício A2 difere do A1 por ter um piso a menos. A composição dos elementos é a mesma que a do A1.

O edifício B1 é o maior em área dos quatro, e sua composição é semelhante à do A1, com a única diferença de ter aproximadamente o dobro da área do A1.

O B2 possui uma constituição semelhante à do A1, com os mesmos tipos de elementos.



Figura 5 - Plano do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023)

O projeto compreende uma área total de 78.132 m<sup>2</sup> destinada a escritórios, proporcionando 6.332 postos de trabalho. Além disso, inclui 37.500 m<sup>2</sup> de laje de madeira e 42.400 m<sup>2</sup> de fachada de vidro. A figura 6 representa em francês as informações acima descritas.



Figura 6 - Componentes do projeto (Fonte: Bouygues construction, 2023)

Além disso, o projeto conta com terraços verdes que apresentam uma arborização do local. Na figura 7 pode-se ver a localização de alguns dos terraços verdes.



Figura 7 – Terraços (Fonte: Bouygues construction, 2023)

### **3.3.2. – Acompanhamento do projeto e modelação**

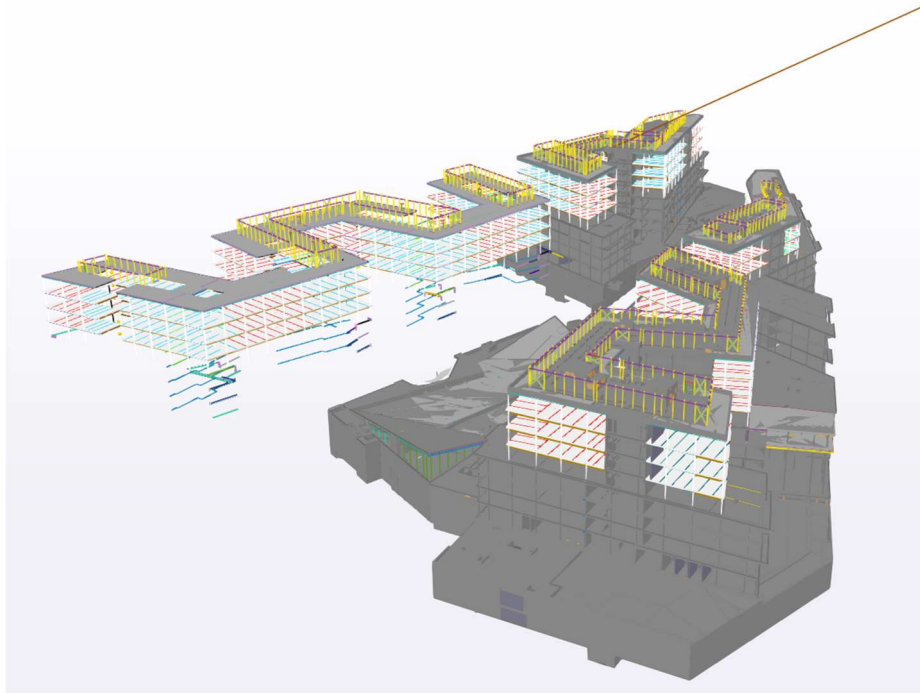
O projeto e a modelação da obra foram realizados pela Visarqeng [7], um escritório especializado em projetos estruturais, que faz parte do Grupo NovaGente [8]. Devido à magnitude do projeto e às alterações feitas pelo cliente, a modelação ocorreu simultaneamente à montagem da estrutura.

No caso desse estágio, não foi realizado o acompanhamento do projeto, visto que o mesmo já estava pronto na fase de início do estágio, mas vale realçar que o projeto foi feito seguindo um plano arquitetónico disponibilizado pelo cliente, sendo assim necessário realizar os cálculos estruturais para definições dos perfis futuramente empregados no projeto.

Alguns autores destacam detalhes dessa etapa realizada pelo projetista, como no manual da ABCEM [9] está indicado que “O Projetista é responsável somente pela adequação e estabilidade da Estrutura completa e terminada. Esse engenheiro/empresa não é responsável pelos meios e métodos ou pela segurança da Montagem da Estrutura, enquanto esta não esteja completamente montada, apresentando configurações variadas de estabilidade”.

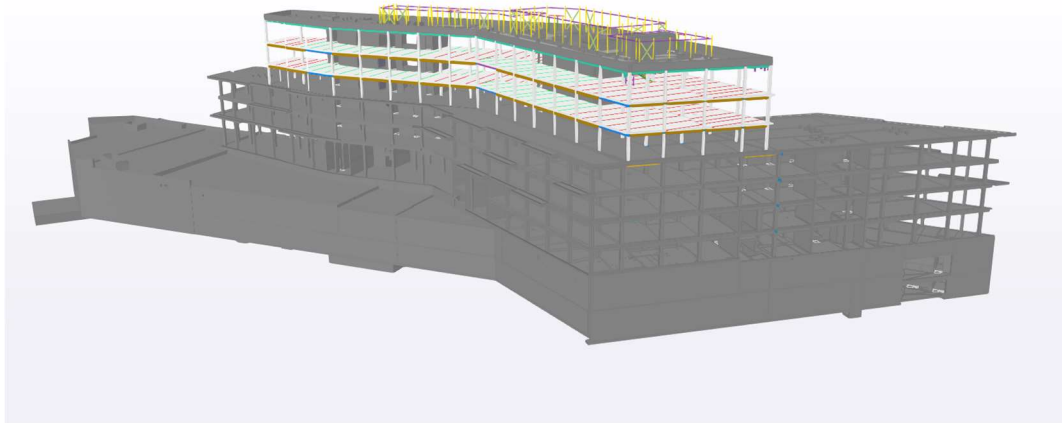
E na página 17 da referência [10] lê-se que: “Este item inclui toda a análise estrutural com o dimensionamento de todos os elementos, geração das cargas nas fundações e a definição geométrica dos eixos, dimensões e níveis da estrutura, a partir do projeto arquitetónico. Para obter estes elementos, o engenheiro estrutural fará o cálculo estrutural no qual levará em conta todos os esforços que serão aplicados à estrutura, suas combinações possíveis e dará aos seus elementos as dimensões necessárias para oferecer a resistência adequada. Além disso, também devem constar do projeto o tipo de ligação a ser adotado entre as peças, os perfis e outros materiais, o aço a ser adotado, a classe dos parafusos e eléctrodos de solda e os ensaios necessários para a garantia da qualidade da execução. O projeto estrutural completo é feito pela lista de materiais, a memória de cálculo e os desenhos de projeto”

Todas as empresas envolvidas tiveram de disponibilizar o arquivo IFC do projeto, que é um formato BIM, mostrado na figura 8, a fim de permitir a síntese dos elementos, evitando assim possíveis interferências entre eles conforme abordado anteriormente.



**Figura 8 - IFC do projeto (Fonte: Software Tekla, 2023)**

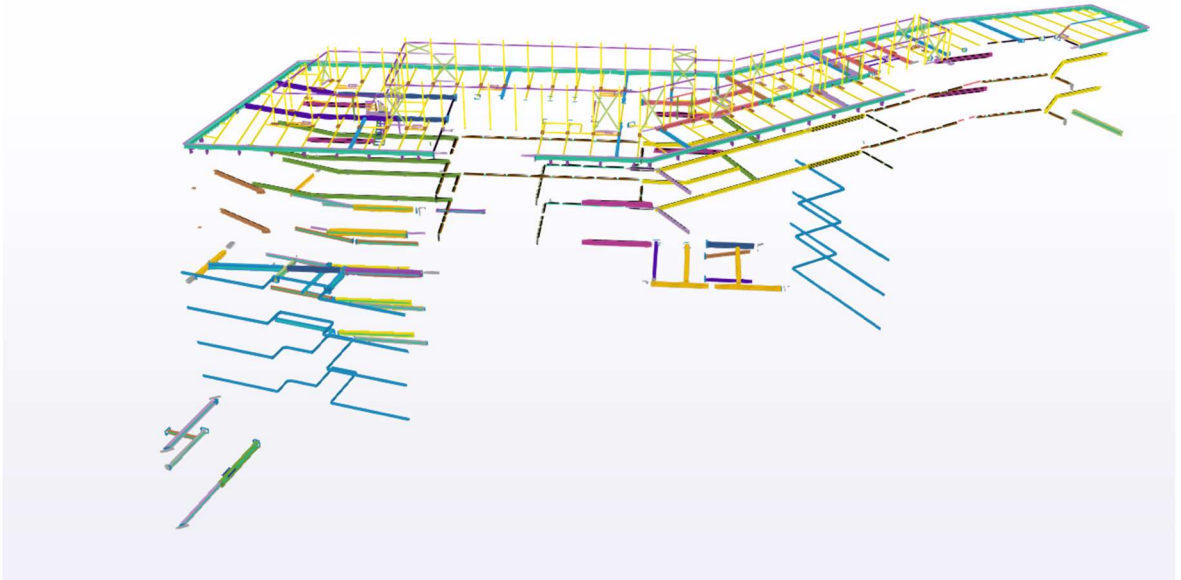
Para a ilustração da modelação será utilizado o edifício A2, mostrado na figura 9.



**Figura 9 - Modelação A2 (Fonte: Software Tekla, 2023)**

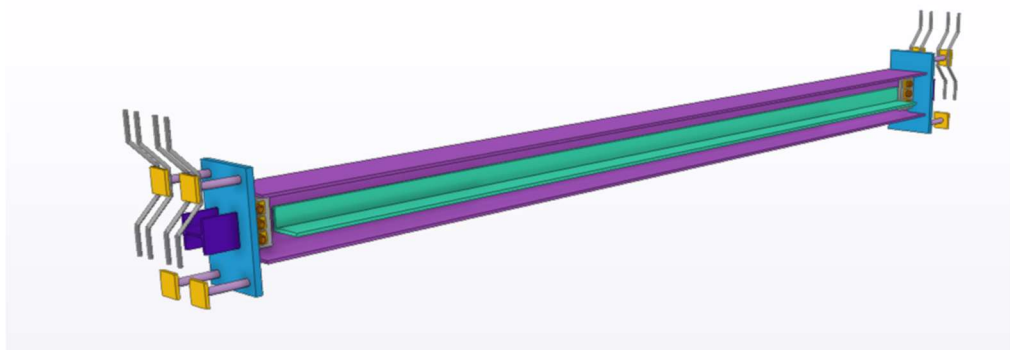
Resumidamente, a maior parte da estrutura metálica dos edifícios está concentrada nos andares superiores, conforme é mostrado na figura 10. Isso ocorre devido à opção por priorizar a utilização de estrutura de madeira em detrimento da estrutura metálica. Há um movimento muito forte na França hoje para amenizar a emissão de CO<sub>2</sub>, por conta disso muitos edifícios estão a ser feitos em madeira. Conforme dito anteriormente, os pisos

inferiores foram mantidos em betão devido a maior resistência proporcionada pelo material. Do piso 3 ao 6 foi optado por elementos em madeira laminada colada, tendo alguns elementos em aço devido ao fato que o aço consegue ter elementos mais resistentes em alturas menores. Por fim o último piso foi feito em estrutura metálica para suportar a laje de betão.



**Figura 10 - Estrutura metálica do A2 (Fonte: Software Tekla, 2023)**

Os elementos metálicos principais apresentados na estrutura são as vigas, como as das figuras 11 e 12.



**Figura 11 Viga ligada ao Betão 1 (Fonte: Software Tekla, 2023)**

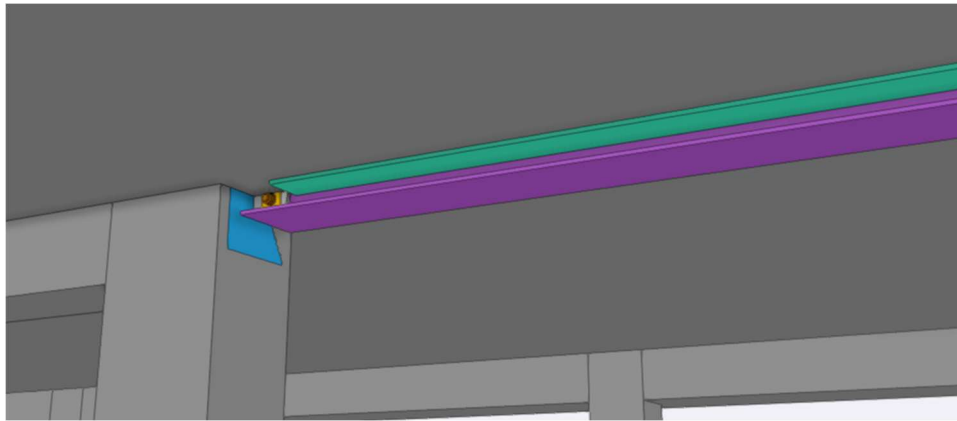


Figura 12 - Viga ligada ao Betão 2 (Fonte: Software Tekla, 2023)

As ligações das vigas ao betão são feitas por “chumbadores”, vistos na figura 13, que são betonados juntos ao pilar. Por serem betonados, os chumbadores possuem barras metálicas para assegurar a segurança da ligação. De acordo com IAB e CBCA, o termo ligação é utilizado para elementos construtivos que realizam a união de partes da estrutura entre si, ou a uma união de elementos externos a ela [11]

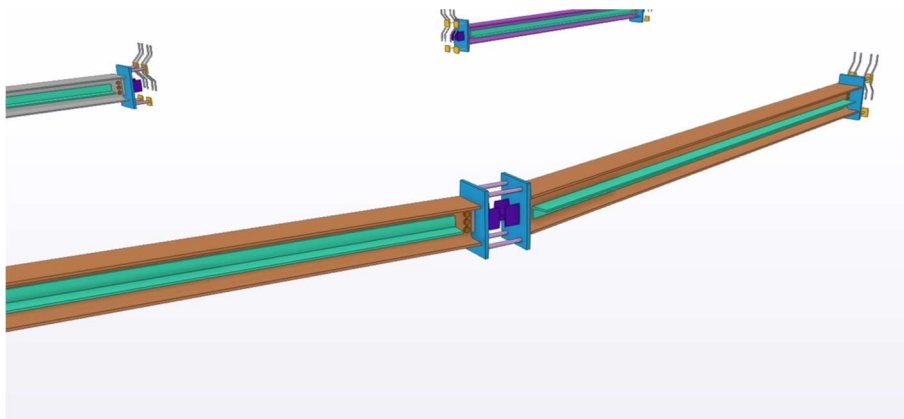
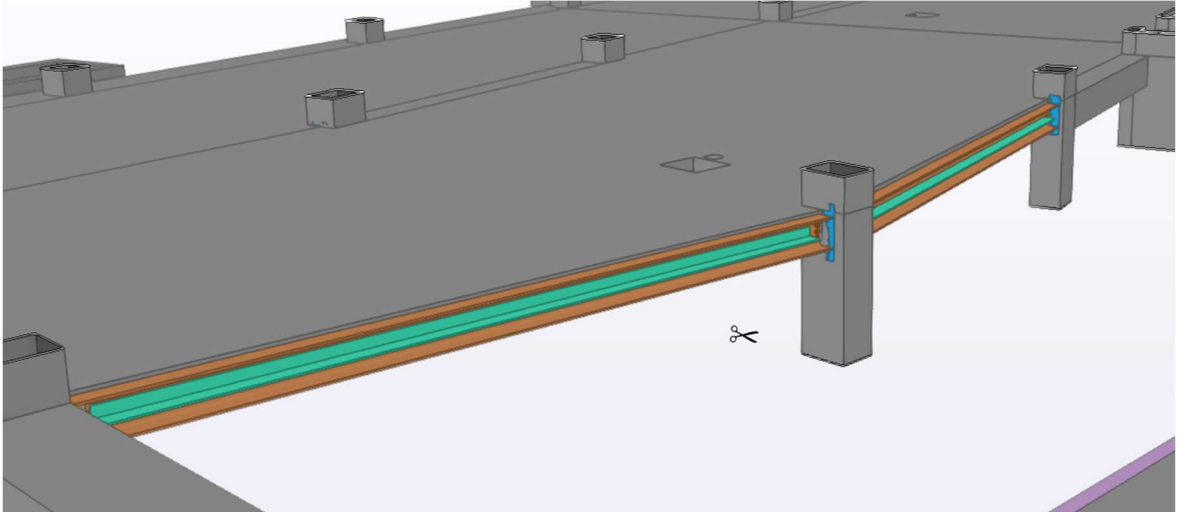


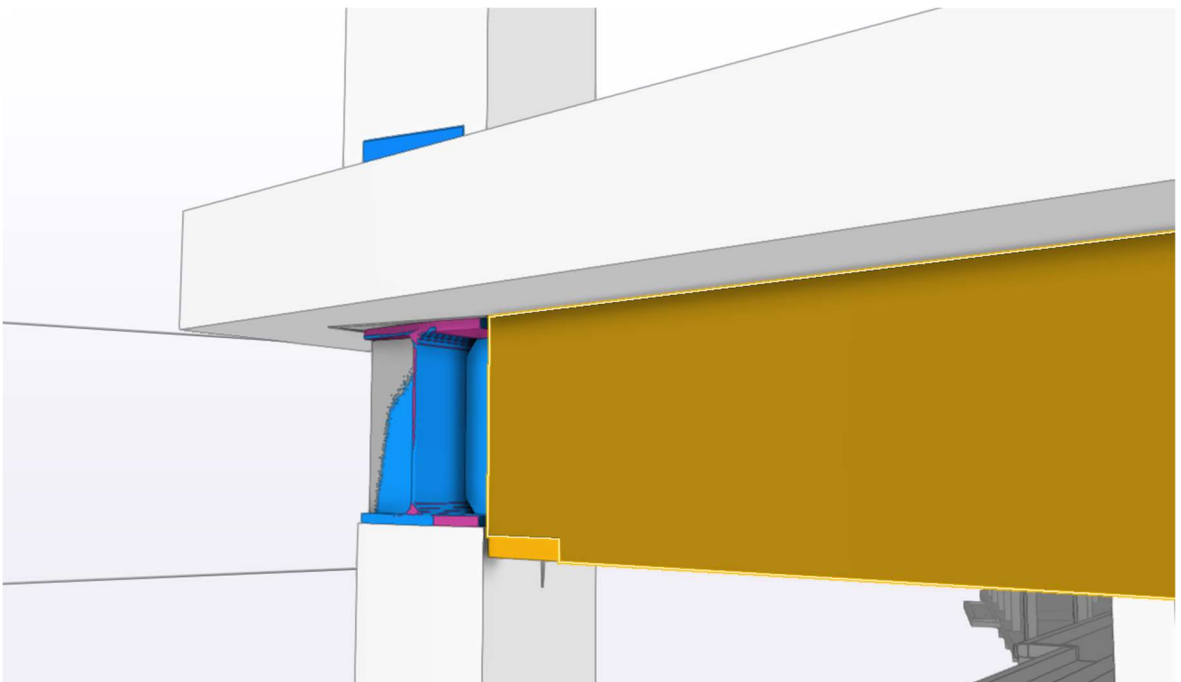
Figura 13 - Ligação viga-viga (Fonte: Software Tekla, 2023)

A conexão entre as vigas segue o mesmo padrão da ligação ao betão. A única diferença é que o "Chumbador" é projetado para receber outra viga do lado oposto, com seu centro localizado dentro do pilar de betão, como apresentado na figura 14.

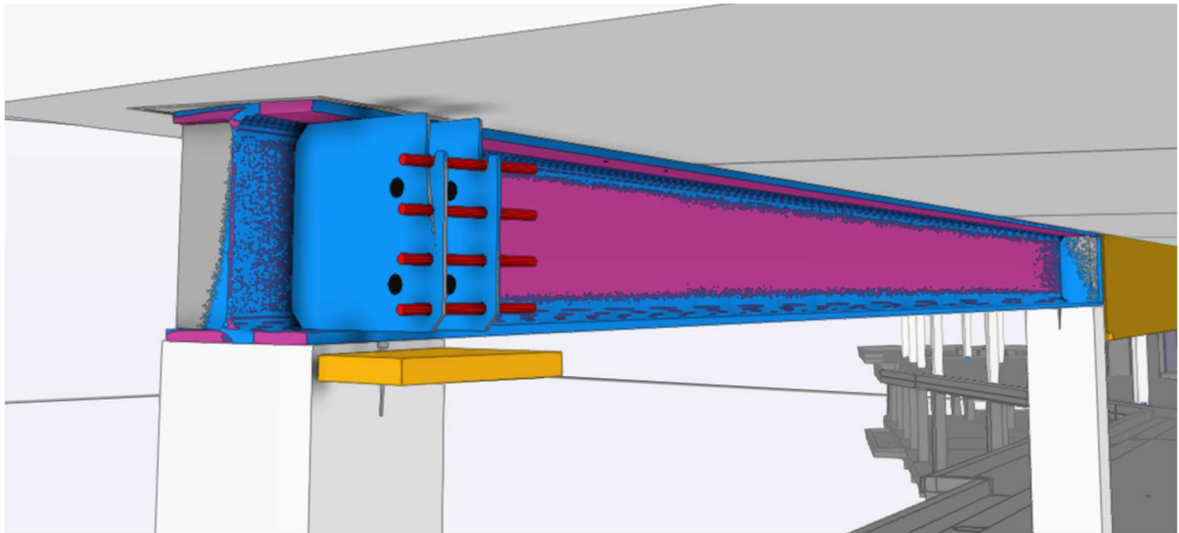


**Figura 14 - Ligação viga-viga 2 (Fonte: Software Tekla, 2023)**

A próxima ligação, mostrada na figura 15, é a de vigas de aço as vigas de madeira lamelada, que se dá por chapas metálicas fixadas na madeira por barras metálicas, como ilustra a figura 16.

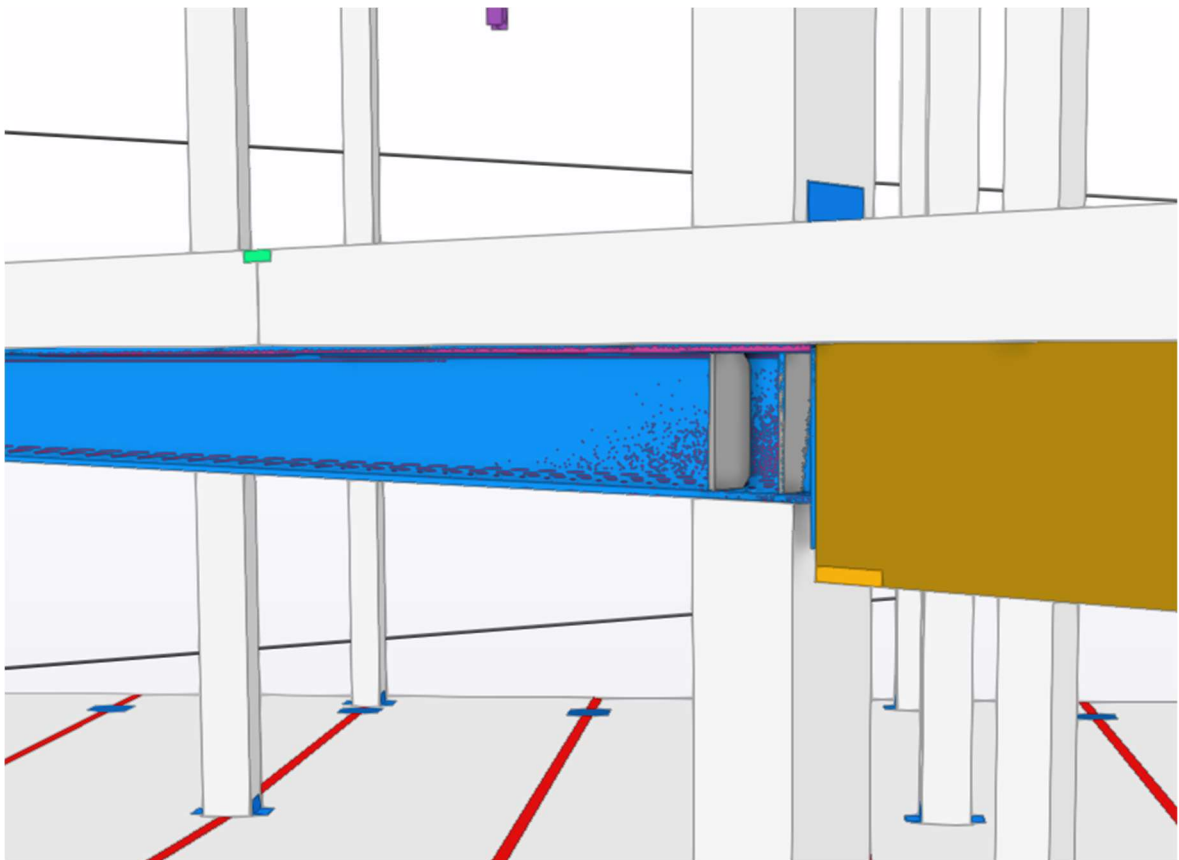


**Figura 15 - Ligação metal-madeira (Fonte: Software Tekla, 2023)**



**Figura 16 - Ligação metal-madeira 2. (Fonte: Software Tekla, 2023)**

Percebe-se nas vigas metálicas que onde se tem pilares, há reforços dos perfis conforme mostrado na Figura 17.



**Figura 17 - Reforço da viga (Fonte: Software Tekla, 2023)**

A laje de madeira apoia-se as vigas e, na parte das paredes, existem cantoneiras metálicas fixas por buchas mecânicas, as quais se abrem nas pontas quando pressionadas com um esforço suficiente (ver figura 18).

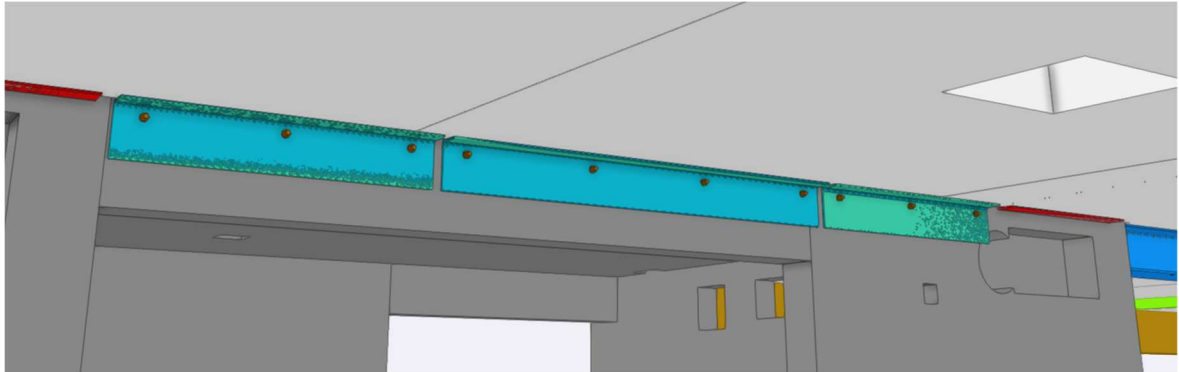


Figura 18 – Cantoneiras (Fonte: Software Tekla, 2023)

### 3.3.3. Acompanhamento do fabrico

Um dos fatores que pode apresentar desafios imprevisíveis é o processo de fabrico. Abordando essa questão, descreveu-se em detalhes a gestão completa, desde a modelação dos elementos até a chegada do material no local da obra.

A Faustino e Ferreira, fabrica onde foram fabricados os elementos metálicos da obra pertence ao Grupo Novagente, a qual a empresa ACIETEC faz parte. Foi fundada em 1990 no Vidigal, Leiria, Portugal. Em 2003 expandiu-se com uma segunda unidade situada em Pombal, Portugal e, em 2008, para sua terceira unidade em Touria, Leiria. Suas instalações contam com 70000 m<sup>2</sup>. A empresa implementou a norma de controlo e desempenho de produção EN1090.

Após a conclusão da modelação dos elementos, o modelador deve criar os desenhos de aprovação de cada elemento e enviar ao cliente para validação de cada uma das peças fabricas. Obtendo a validação, o modelador deve encaminhar uma pasta com os desenhos de fabricação para a fábrica responsável pela produção. Os planos de fabrico podem ser organizados por andares ou por áreas, e em alguns casos, são segmentados por elementos individuais em cada pavimento. Conforme explicado anteriormente, os desenhos de fabricação são extraídos diretamente do software Tekla.

Nesta pasta, são incluídas informações como a quantidade de perfis a serem adquiridos para a fabricação, estratégias de otimização para redução do desperdício de material. É uma lista

abrangente, como a mostrada na figura 19, de todos os elementos abordados no plano, além dos planos em formatos PDF, DWG, CNC e DXF de cada peça.

FAUSTINO & FERREIRA		LISTAGEM DE FABRICO		(Mod.DT.01.20 -Rev.0)						
Nº Projeto: E21014		Nº Obra: 2193		Plano Fab.: B93I						
Nome do Projeto: CAMPUS ENGIE (FR)		Class Exec.: EXC2		Zona: ZA2						
Local: Rue des Fauvelles/ Rue Jules Ferry				Revisão: 00						
Criado por: Filipe Gomes										
Data Entrega: 29/07/2022										
Recebido por:		Peso Total: 16 311,3 Kg		Área Total: 311,22 m²						
#	MARC. CONJ.	PERFIL	QTD.	MATERIAL	COMP.	PESO/un	PESO/Total	ÁREA/Total	REV.	DATA
1	B93IH1	L200x100x10	13 un	S235JR	440 mm	15,6 Kg	202,8 Kg	5,20 m²	00	29/07/2022
2	B93IH2	PL10X300	2 un	S235JR	435 mm	15,0 Kg	30,0 Kg	0,70 m²	00	29/07/2022
3	B93IH3	PL20X360	1 un	S355JR	480 mm	43,0 Kg	43,0 Kg	0,66 m²	00	29/07/2022
4	B93IH4	PL20X360	3 un	S355JR	680 mm	55,8 Kg	167,4 Kg	2,55 m²	00	29/07/2022
5	B93IH5	PL10X300	1 un	S235JR	515 mm	16,9 Kg	16,9 Kg	0,40 m²	00	29/07/2022
6	B93IH6	PL25X130	23 un	S355JR	285 mm	21,5 Kg	494,5 Kg	13,11 m²	00	29/07/2022
7	B93IH7	PL25X130	2 un	S355JR	285 mm	22,4 Kg	44,8 Kg	1,20 m²	00	29/07/2022
8	B93IH8	PL25X130	2 un	S355JR	285 mm	21,8 Kg	43,6 Kg	1,16 m²	00	29/07/2022
9	B93IH9	PL25X130	1 un	S355JR	285 mm	23,6 Kg	23,6 Kg	0,64 m²	00	29/07/2022
10	B93IH10	PL25X130	2 un	S355JR	285 mm	22,6 Kg	45,2 Kg	1,22 m²	00	29/07/2022
11	B93IH11	PL25X130	1 un	S355JR	305 mm	22,0 Kg	22,0 Kg	0,60 m²	00	29/07/2022
12	B93IH12	PL25X130	1 un	S355JR	305 mm	23,6 Kg	23,6 Kg	0,64 m²	00	29/07/2022
13	B93IH13	PL10X200	9 un	S235JR	210 mm	12,1 Kg	108,9 Kg	3,06 m²	00	29/07/2022
14	B93IH14	PL25X310	1 un	S355JR	465 mm	40,8 Kg	40,8 Kg	0,99 m²	00	29/07/2022
15	B93IH15	PL25X320	1 un	S355JR	510 mm	42,2 Kg	42,2 Kg	1,01 m²	00	29/07/2022
16	B93IH16	PL25X315	1 un	S355JR	470 mm	42,1 Kg	42,1 Kg	1,02 m²	00	29/07/2022
17	B93IH17	PL10X135	1 un	S235JR	145 mm	10,8 Kg	10,8 Kg	0,30 m²	00	29/07/2022
18	B93IV1	HEA280	1 un	S235JR	5 650 mm	470,5 Kg	470,5 Kg	10,16 m²	00	29/07/2022
19	B93IV2	HEA280	1 un	S235JR	4 795 mm	394,5 Kg	394,5 Kg	8,18 m²	00	29/07/2022
20	B93IV3	HEA280	1 un	S235JR	7 089 mm	637,9 Kg	637,9 Kg	13,02 m²	00	29/07/2022
21	B93IV4	HEB300	1 un	S235JR	12 544 mm	1 595,9 Kg	1 595,9 Kg	23,80 m²	00	29/07/2022
22	B93IV5	HEB300	1 un	S235JR	11 253 mm	1 444,8 Kg	1 444,8 Kg	21,56 m²	00	29/07/2022
23	B93IV6	HEA300	1 un	S235JR	6 562 mm	713,2 Kg	713,2 Kg	14,50 m²	00	29/07/2022
24	B93IV7	HEA360	1 un	S235JR	6 745 mm	801,2 Kg	801,2 Kg	13,73 m²	00	29/07/2022
25	B93IV8	HEA360	1 un	S235JR	6 048 mm	790,5 Kg	790,5 Kg	14,03 m²	00	29/07/2022
26	B93IV9	HEA280	1 un	S235JR	10 563 mm	891,4 Kg	891,4 Kg	18,29 m²	00	29/07/2022
27	B93IV10	HEA280	1 un	S235JR	5 578 mm	522,7 Kg	522,7 Kg	10,35 m²	00	29/07/2022
28	B93IV11	HEA360	1 un	S235JR	6 749 mm	835,4 Kg	835,4 Kg	14,18 m²	00	29/07/2022
29	B93IV12	HEA240	1 un	S235JR	4 830 mm	315,4 Kg	315,4 Kg	7,48 m²	00	29/07/2022
30	B93IV13	HEB300	1 un	S235JR	6 255 mm	760,2 Kg	760,2 Kg	11,74 m²	00	29/07/2022
31	B93IV14	HEB300	1 un	S235JR	6 272 mm	763,0 Kg	763,0 Kg	11,80 m²	00	29/07/2022
32	B93IV15	HEA280	1 un	S235JR	3 998 mm	336,2 Kg	336,2 Kg	7,01 m²	00	29/07/2022
33	B93IV16	HEA280	1 un	S235JR	6 024 mm	496,4 Kg	496,4 Kg	10,31 m²	00	29/07/2022
34	B93IV17	HEA360	1 un	S235JR	6 883 mm	782,3 Kg	782,3 Kg	13,23 m²	00	29/07/2022
35	B93IV18	HEB300	1 un	S235JR	6 586 mm	794,1 Kg	794,1 Kg	11,74 m²	00	29/07/2022
36	B93IV19	UPE240	1 un	S235JR	2 664 mm	83,4 Kg	83,4 Kg	2,25 m²	00	29/07/2022
37	B93ILH1	PL6X270	16 un	S235JR	270 mm	3,9 Kg	62,4 Kg	2,72 m²	00	29/07/2022
38	B93ILV1	L200x100x10	4 un	S235JR	180 mm	4,1 Kg	16,4 Kg	0,44 m²	00	29/07/2022
39	B93ILV2	L100X100X10	1 un	S235JR	1 800 mm	26,8 Kg	26,8 Kg	0,72 m²	00	29/07/2022
40	B93ILV3	L100X100X10	5 un	S235JR	2 000 mm	29,8 Kg	149,0 Kg	4,00 m²	00	29/07/2022
41	B93ILV4	L100X100X10	5 un	S235JR	1 200 mm	17,9 Kg	89,5 Kg	2,40 m²	00	29/07/2022
42	B93ILV5	L100X100X10	2 un	S235JR	800 mm	11,9 Kg	23,8 Kg	0,64 m²	00	29/07/2022
43	B93ILV6	L100X100X10	1 un	S235JR	2 000 mm	29,8 Kg	29,8 Kg	0,80 m²	00	29/07/2022
44	B93ILV7	L200x100x10	13 un	S235JR	2 000 mm	45,8 Kg	595,4 Kg	15,21 m²	00	29/07/2022

Figura 19 - Listagem de elementos de fabricação (Fonte: Faustino e Ferreira) [12]

Em todos os projetos, deve-se adotar numerações que servirão para a identificação de cada peça do projeto, nesse caso cada peça de aço deve ter sua numeração. No campus Engie, foi adotado a seguinte legenda para os planos de fabrico:

- (i) a primeira letra é referente ao edifício. A1 – A; A2 – B; B1 – C; B2 – D e Coeur – E.
- (ii) os próximos 2 números são referentes a obra, a numeração dessa obra é 2293, sendo 22 referência ao ano e 93 referência a obra.



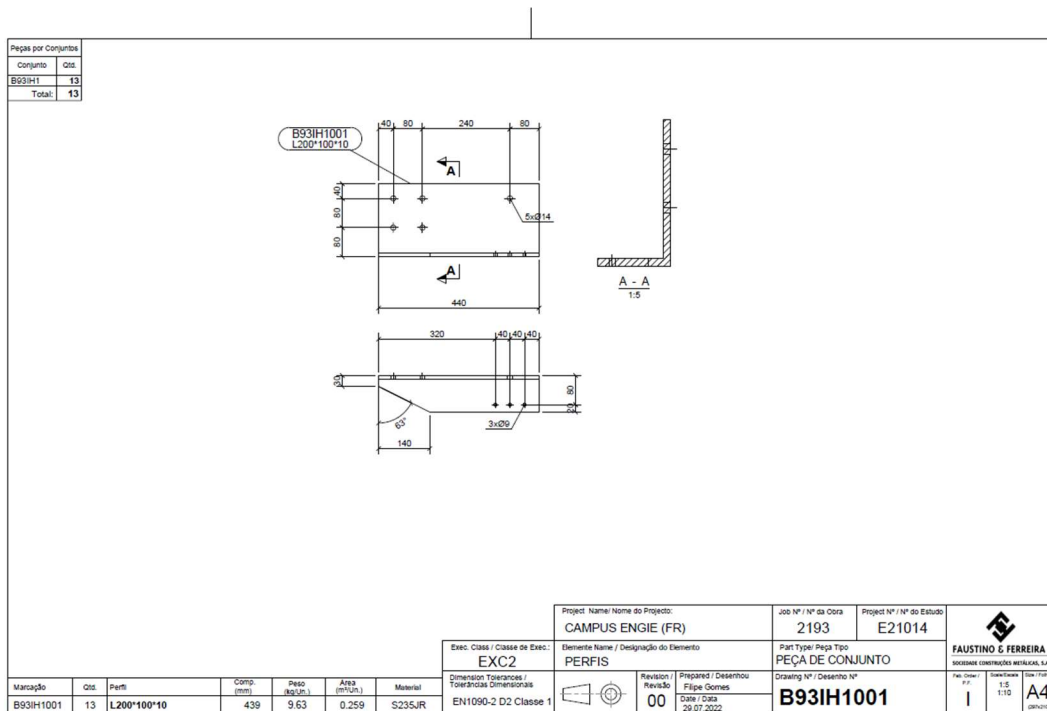


Figura 21 - Plano de fabrico B93IH1 (Fonte: Autor)

Com a lista de perfis e quantidades, a responsável da parte de aquisição da matéria-prima da fábrica compra os perfis que serão necessários para o fabrico.

Ao chegarem na fábrica os perfis passam por uma máquina que faz o corte e os furos, vista na figura 22. Em alguns casos os furos devem ser feitos de forma manual.



Figura 22 - Furação de perfil (Fonte: Autor)

Em paralelo, é feito o corte das chapas que serão utilizadas no elemento. A chapa, com uma espessura especificada no projeto, entra na máquina à laser, vista na figura 23, a qual corta e faz os furos, conforme ilustra a figura 24, necessários de acordo com o desenho inserido no computador.



**Figura 23 - Máquina à Laser (Fonte: Autor)**



**Figura 24 - Chapas cortadas e furadas (Fonte: Autor)**

As peças já cortadas e furadas, seguem para a etapa de soldadura. Nessa etapa os soldadores juntam os perfis, soldando-os uns aos outros. A soldadura pode ser simples com apenas alguns pingos, ilustrados nas figuras 25 e 26, ou pode ser com cordões de solda aplicados em seu decorrer para se ter uma melhor resistência. Os cordões são utilizados para elementos estruturais. A escolha de cada tipo de soldadura é feita pelo projetista, que deve especificar qual soldadura deve ser utilizada em cada elemento.

De acordo com Davison [13], a soldadura é um procedimento que permite uma ligação de continuidade entre elementos metálicos constituintes de uma estrutura. Consiste na fusão do material a ligar, por aumento da temperatura, sendo a ligação assegurada desta forma, pela adição de um material de adição que se funde com o aço. Trata-se de um processo complexo, cujo estudo e desenvolvimento envolve diversas áreas do conhecimento tais como a Física, a Química, as Engenharias Electrotécnica, Metalúrgica, Mecânica e Estrutural.

A esquema de soldadura tende a ser o mais utilizado devido a facilidade de montagem em obra, mas devido ao tamanho útil que as peças podem ter na hora do transporte, acaba-se utilizando bastante o esquema de ligação aparafusada.



**Figura 25 - Perfil soldado (Fonte: Autor)**

Além da soldadura, existem ligações aparafusadas, como veremos no processo de montagem dos elementos, mas elas apresentam algumas características distintas das da soldadura.

Ainda de acordo com Davison, comparativamente às ligações aparafusadas a soldadura apresenta duas vantagens, que consistem na redução substancial do peso da estrutura, já que não necessita de chapas de ligação, e proporciona ligações mais eficazes no que respeita à proteção ao fogo e à corrosão [13]



**Figura 26 - Perfil Soldado 2 (Fonte: Autor)**

Após a peça estar montada, segue-se o processo de acabamento, ou seja, processo de decapagem, pintura ou tratamentos superficiais como galvanização. No caso dessa obra, as vigas e cantoneiras passam por um tratamento de decapagem seguido de uma pintura primária, visto na imagem da figura 27, com exceção das vigas, contra-ventamentos e pilares da casa de máquinas, os quais foram galvanizados devido a exposição a chuva e humidade.



**Figura 27 - Viga com primário (Fonte: Autor)**

O processo de decapagem é muito utilizado no ramo de construção metálicas.

O processo consiste na incidência de um jato abrasivo sobre a peça a decapar, a velocidades e pressões elevadas que rondam os 130m/s e os 7 Bar, respetivamente. Este jato é composto por partículas de aço de geometria angular ou esférica com dimensões variáveis, sendo designadas por granalha de aço ou com peças de plástico. Como agente abrasivo pode ser ainda utilizada areia siliciosa angular ou quartzo, estando a sua utilização em desuso, devido às consequências negativas que acarretam tanto a nível ambiental, como de saúde dos operadores, devido ao seu alto teor em sílica [14]

Após o fabrico, as peças de aço, feitas em Leiria, vão para a obra por meio de camião e demora em torno de 2 dias para chegar a Paris.

Com as peças estruturais de aço em obra, inicia-se a etapa de montagem.

#### **3.3.4. Acompanhamento da montagem**

Para melhor entendimento das etapas, serão utilizados os edifícios A1 e A2 como exemplo, já que foram os primeiros a serem iniciados.

Antes da descrição do processo de montagem de cada elemento, vale ressaltar que é necessário a realização de um documento de segurança, o PPSPS, qual define os materiais e

máquinas necessários para cada etapa, a logística de todos os materiais até o local de montagem, o método de montagem daquele elemento junto com o método de fixação. Um exemplo rápido foi no caso da montagem das chapas colaborantes que serão abordadas mais a frente. No PPSPS foi descrito como seria feita a instalação das redes de proteção, como as chapas seriam aplicadas e quais os equipamentos de segurança seriam aplicados para evitar acidentes.

#### 3.3.4.1 – Piso RDC ao Piso 3

Do primeiro ao 3º piso, a estrutura foi composta em sua maior parte de elementos de betão e uma menor parte por elementos metálicos. Devido a isso, há apenas ligações betão-aço.

A primeira etapa na montagem é verificar se a zona se encontra em boas condições para receber a viga. Nesse caso o pilar que irá receber o chumbador, como evidencia a figura 28. Deve-se verificar se é necessário cortar algum elemento de aço ou picar alguma imperfeição do betão.



**Figura 28 - Pilar de recebimento do chumbador (Fonte: Autor)**

No caso da figura 28 é possível observar que não havia espaço para o chumbador entrar, logo foi necessário cortar algumas barras de aço de modo a deixar o espaço suficiente para as patas do chumbador. Para a realização dos cortes das armaduras, foi realizada uma consulta com o escritório projetista, o qual confirmou que era possível a realização dos cortes em afetar a resistência da estrutura.

Com a primeira etapa realizada, deve-se então deixar todo o material preparado para realizar a montagem da viga: um laser rotativo, máquina de aperto, nível, pé-de-cabra, parafusos, anilhas, porcas e plataforma elevatória

Com todo o material preparado, deve-se engatar as correntes da grua na viga para poder posicioná-la no local correto. Normalmente podem ser utilizadas cintas para levantar as vigas metálicas, mas como foi proibida nessa obra, foi necessário então a utilização de um mecanismo para engatar. Esses dispositivos foram compostos por manilhas sendo que dois modelos foram construídos:

- (i) Um para ser parafusado a viga e retirado após o uso, tal como mostrado na figura 29
- (ii) Outro sendo soldado diretamente na viga e cortado após a utilização, evidenciado na figura 30.



Figura 29 - Manilha parafusada a viga (Fonte: Autor)



**Figura 30 - Manilha soldada (Fonte: Autor)**

O chumbador normalmente é preso na viga antes da mesma ser apanhada pela grua (ver figura 31), pois isso ajuda a não ter erros em relação à posição da mesma. Em poucos casos foi necessário instalar o chumbador antes da viga devido a falta de espaço para manusear a viga.



**Figura 31 - Viga sendo levada pela grua (Fonte: Autor)**

Com a viga engatada à grua, posicionou-a no sítio que deveria ser colocada. O chumbador deve estar faceado com o exterior do pilar, de modo a ficar totalmente dentro do pilar e uma das armaduras do pilar deve passar dentro de um furo localizado no centro do chumbador conforme é observado na figura 32.



**Figura 32- Chumbador em posição (Fonte: Autor)**

Com a viga colocada, deve-se verificar a altura da parte inferior da viga e conferir se ela confere com o valor de projeto (o controle de qualidade será explicado mais adiante neste trabalho).

A seguir, deve-se desengatar a grua para que a mesma continue a trabalhar em outras tarefas.

Além disso, é importante verificar a face conforme dito anteriormente (figura 33). Com isso pode-se apertar o parafuso da viga e do chumbador a modo de não haver mais movimentos. Usa-se o pé-de-cabra para poder mover o chumbador.



**Figura 33 - Verificação da face do chumbador em relação a face do betão (Fonte: Autor)**

Após a colocação da viga, a mesma deve ser escorada em 3 pontos, sendo eles as duas pontas e o meio. A mesma deve ficar escorada pelo menos 3 dias após a betonagem dos chumbadores.

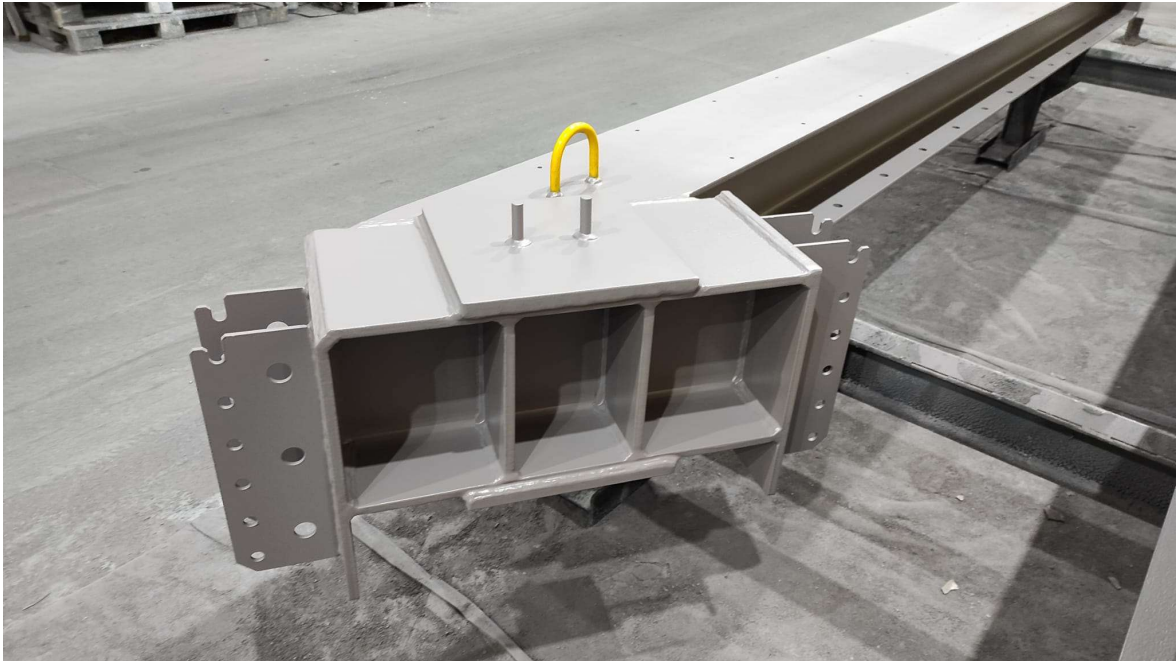
#### 3.3.4.2 – Piso 4 ao 6

Aos próximos pisos acrescentaram-se as cantoneiras, para além das vigas.

Nesses pisos encontram-se 3 tipos de ligações: aço-madeira, aço-aço e aço-betão.

A ligação aço-madeira é simples de ser realizada, enquanto na ligação aço-betão se encontram muitos problemas por conta das armaduras das vigas de betão. Na madeira, o sistema utilizado foi de fixação de pinos metálicos entre a viga de madeira e a metálica.

Na ligação aço-madeira, não se tem o Chumbador, existem apenas os elementos soldados diretamente na viga, os quais irão fazer o encaixe das peças, conforme mostrado na figura 34.



**Figura 34 - Viga ligação Aço-Madeira (Fonte: Autor)**

As duas platinas laterais de cada lado são inseridas em cortes pré feitos na viga de madeira, mostrados na figura 35. Os furos menores na extremidade estão no sítio onde serão ligados às peças de fixação.

Na parte inferior outra platina liga ao pilar de betão, no mesmo modo das laterais, só que menor.

Nessa etapa é mais difícil possuir erros na altimetria das peças, já que o pilar existente em sítio servirá de suporte à viga. Logo, se a viga estiver com uma altura diferente de projeto, o pilar estará também na altimetria errada. Algo que se percebeu com frequência foi o fato de o pilar estar um pouco fora de nível em relação a inclinação vertical, portanto era sempre importante ver o nível do pilar para saber se não possuíam erro de implantação da viga.

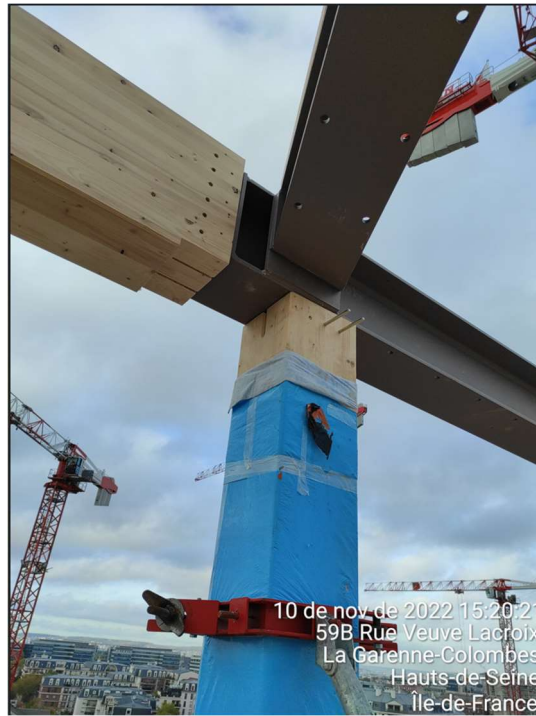


**Figura 35 - Furos pré feitos nas vigas de madeira (Fonte: Autor)**

Com a viga no sítio, a equipa do empreiteiro da obra colocava as vigas de madeira, visto que as vigas de madeira só podiam ser colocadas após as vigas metálicas estarem posicionadas no sítio devido à fixação.

A ligação aço-aço acontece quando se tem vigas ligadas umas às outras. Esse tipo de ligação possui a mesma simplicidade da ligação anterior, sendo que as vigas só são parafusadas entre si.

Ainda na ligação aço-aço, mostrada como exemplo nas figuras 36, 37 e 38, ocorreram casos onde duas vigas apoiavam-se no mesmo pilar, sendo metade do pilar para cada uma e as mesmas eram ligadas por chapas aparafusadas.



**Figura 36 - Ligação aço-aço (Fonte: Autor)**



**Figura 37 - Ligação aço-aço 2 (Fonte: Autor)**



**Figura 38 - Ligação aço-aço 3 (Fonte: Autor)**

A ligação aço-betão nessa etapa é a de chumbadores na parede, diferentemente dos chumbadores dos pisos de baixo, que servem de suporte da viga, que será aparafusada no chumbador, como visualizado na figura 39.



**Figura 39 - Ligação aço-betão (Fonte: Autor)**

O chumbador deve ser colocado antes da viga, para servir como suporte no momento da instalação.

#### 3.3.4.3 Piso 7

O piso 7 pode ser o considerado o mais especial já que todas as vigas são metálicas. Para além disso por ser a laje superior de betão, foram colocadas chapas colaborantes, as quais foram fixadas diretamente às vigas metálicas. Após a fixação da chapa colaborante e a montagem dos remates de bordadura, foi realizada a betonagem da laje.

A instalação das vigas seguiu o mesmo padrão dos pisos de baixo, sendo que nesse piso foram usados 3 tipos de ligações, sendo aço-aço a mais relevante.

Devido ao fato de muitas empresas precisarem da grua, optou-se por utilizar uma estratégia onde uma equipa colocava as vigas na posição com a ajuda da grua, com aplicação de uma quantidade mínima possível de parafusos de modo a segurar a viga na posição. Logo após uma segunda equipe (ver figura 40), vinha colocar o restante dos parafusos, apertando-os em seguida. Essa estratégia proporcionou uma agilização na gestão do tempo de uso da grua.



**Figura 40 - Equipa dos parafusos (Fonte: Autor)**

#### 3.3.4.4 Chapa colaborante

Foram utilizados em todos os edifícios mais de 10 mil m<sup>2</sup> de chapa colaborante. Devido a essa quantidade, a chapa foi fabricada com os furos para os conectores, os quais foram soldados diretamente nas vigas. Pelo motivo da quantidade de chapa, o fornecedor Arcelormittal [15] realizou um estudo minucioso visando diminuir a espessura da chapa, resultando numa grande economia no projeto tanto para o cliente quanto para a ACIETEC.

O cálculo inicial realizado foi levando em conta um esforço igual em todo o piso, optando assim por utilizar o maior esforço encontrado, mas após o novo cálculo detalhado por zonas, foi possível ter uma redução da espessura da chapa colaborante em certas zonas, proporcionando assim uma diminuição de 10% do custo da chapa.

Antes de colocar a chapa colaborante, houve a necessidade de implementar medidas de segurança da zona para que os trabalhadores trabalhassem sem risco de acidentes. A primeira foi a colocação, por parte da equipa do empreiteiro-geral, dos guarda-corpos nas vigas externas, conforme ilustram as figuras 41 e 42. O suporte para os guarda-corpos vieram soldados de fábrica nas vigas e em casos excecional, foram soldados em obra antes da viga ir para a devida posição.



**Figura 41 - Suporte de GC soldado em obra (Fonte: Autor)**



Figura 42 - Guarda corpos (Fonte: Autor)

A segunda medida de segurança foi a colocação de redes, observadas na figura 43. A rede existe para caso de quedas de pessoas ou material, evitando-se ferimentos graves que possam ocorrer devido a acidentes dessa natureza.



Figura 43 - Rede de segurança (Fonte: Autor)

A última medida de segurança foi o barramento do acesso de outras pessoas na zona onde seria montada a chapa colaborante, de modo a deixar acesso somente a pessoas autorizadas pela ACIETEC.

A instalação da chapa, mostrada nas figuras 44 e 45, é demasiadamente simples: o fabricante da chapa enviou os projetos com as numerações de cada chapa e a partir daí a equipa só precisou seguir o projeto e fixar as chapas com parafusos auto perfurantes viga.



**Figura 44 - Chapa colaborante (Fonte: Autor)**



**Figura 45 Chapa colaborante 2 (Fonte: Autor)**

Por fim, foram feitos cortes nas chapas para os suportes dos pilares da casa de máquinas, tubulações e skydomes, como mostram as figuras 46 e 47.



**Figura 46 - Chapa cortada (Fonte: Autor)**



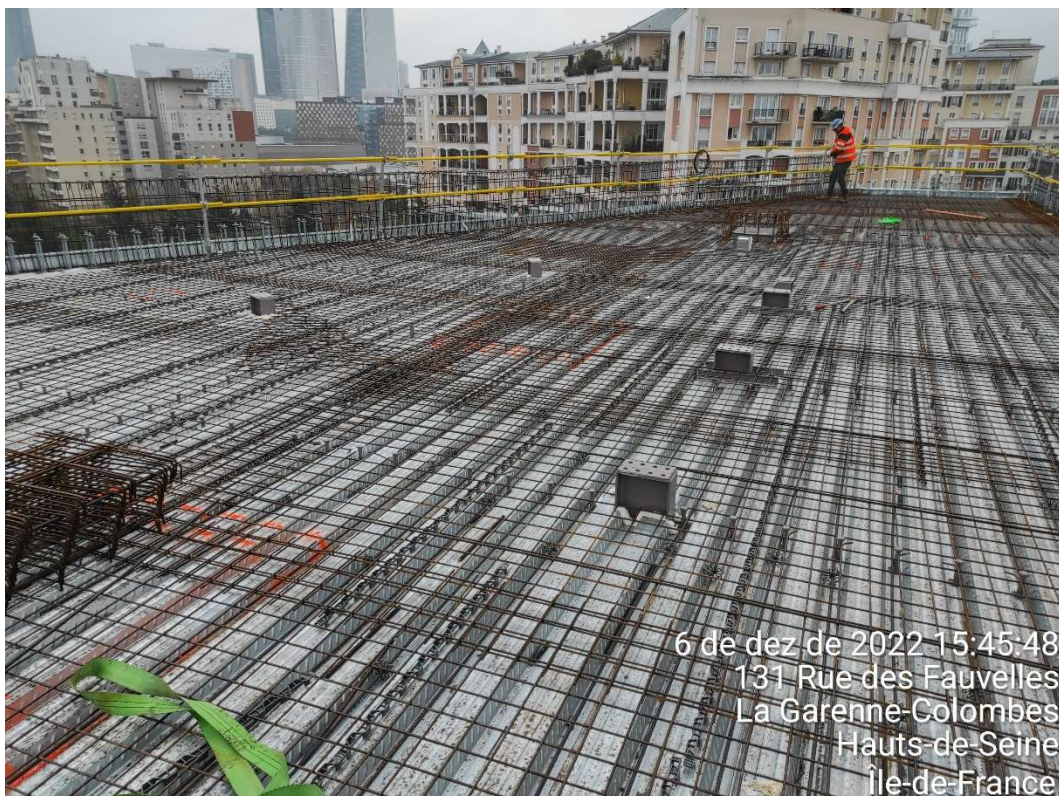
**Figura 47 - Suporte do pilar da casa de máquinas (Fonte: Autor)**

Para evitar o vazamento do betão na hora da betonagem, foram adicionados remates de bordaduras nas extremidades das chapas colaborantes, como indicado na figura 48. Por fim, preencheu os furos com espuma para que o betão não caísse no piso abaixo.



**Figura 48 – Remate de bordadura (Fonte: Autor)**

Após todo o trabalho realizado, outra empresa colocou a armadura da laje e betonou-a, conforme visto na figura 49 e 50.



**Figura 49 - Chapa com armadura (Fonte: Autor)**



**Figura 50 - Laje betonada (Fonte: Autor)**

#### 3.3.4.5 Casa de máquinas

A última parte do edifício foi a casa de máquinas, a qual foi o único local a possuir uma estrutura galvanizada devido à exposição direta às intempéries, além de ser a única zona na obra a possuir pilares metálicos.

A casa de máquinas é o local utilizado para armazenar as máquinas do edifício, como por exemplo as caixas de climatizadores, entre outros elementos.

A etapa de montagem foi bastante simples. Os primeiros elementos a serem instalados foram os pilares, os quais foram fixados nos suportes (previamente vistos na descrição da chapa colaborante).

Para a instalação dos pilares (figura 51):

- (i) Inicialmente foi fixado o anel de suporte em um furo na parte superior da peça, o qual foi especificamente criado para esse fim;

- (ii) Em seguida, a grua foi acoplada ao anel e o pilar foi erguido de modo que o montador pudesse movê-lo e posicioná-lo;
- (iii) Com o pilar na posição correta, os parafusos foram fixados no suporte e na viga para garantir a estabilidade da estrutura.



**Figura 51 - Montagem dos pilares da casa de máquinas (Fonte: Autor)**

Depois de fixado, foi controlada a inclinação do pilar, com níveis, para confirmar que não haveria alterações nas alturas das vigas que posteriormente viriam a ser fixadas nos pilares.

Com os pilares em posição, as vigas foram fixadas em dois pilares por meio de parafusos, como se observa na figura 52. Para além disso, foram colocados contra-ventamentos em algumas das estruturas de acordo com as indicações de projeto.



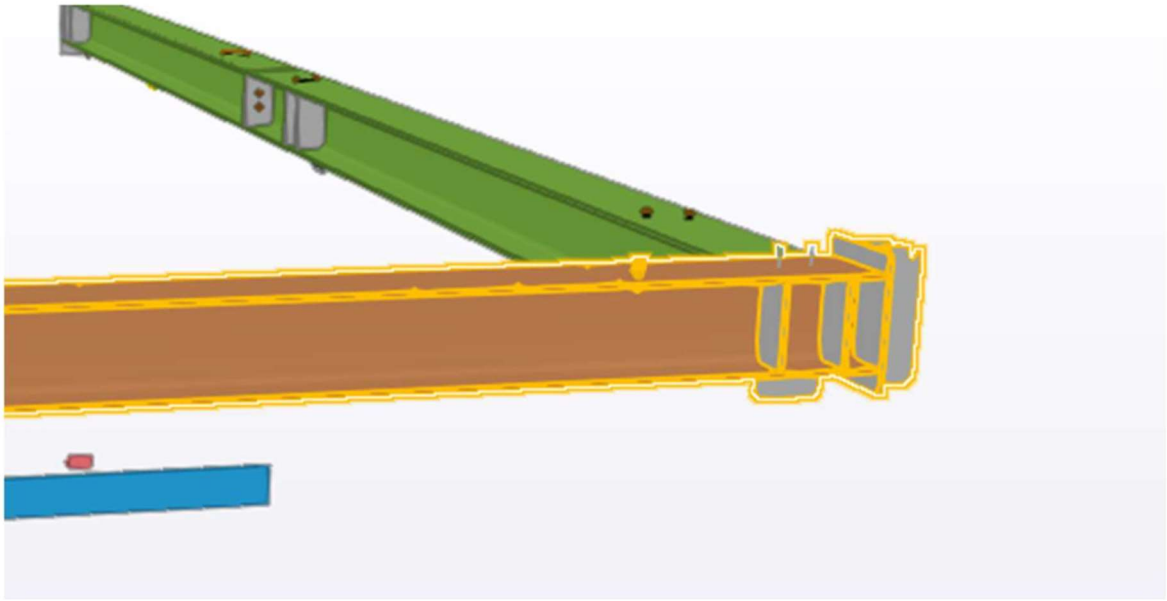
Figura 52 – Casa de máquinas montada (Fonte: Autor)

### 3.3.5. Controle de Qualidade

A fase final do trabalho envolveu a execução do controle de qualidade, que é crucial em todas as etapas do projeto, desde a modelação até a montagem.

O controle de qualidade na fase de fabricação é de responsabilidade da fábrica. Sempre que perfis e elementos eram produzidos, uma parte deles passava por inspeções visuais e métricas para garantir a conformidade com o projeto. Infelizmente, devido à grande quantidade de aço utilizado na obra, totalizando mais de 1500 toneladas, revelou-se impossível manter um controle de 100%. Por consequência, ocorreram alguns erros de fabricação os quais foram corrigidos em obra. Pode-se citar 2 exemplos:

1. Um desses erros foi na chapa de ligação entre vigas, a qual foi soldada no lado errado de uma das vigas. Observa-se na imagem da figura 53 o sentido apresentado na modelação.



**Figura 53 - NCR 1, modelação (Fonte: Software Tekla, 2023)**

Já na figura 54, retirada diretamente no local da obra, é possível notar o erro que foi cometido.

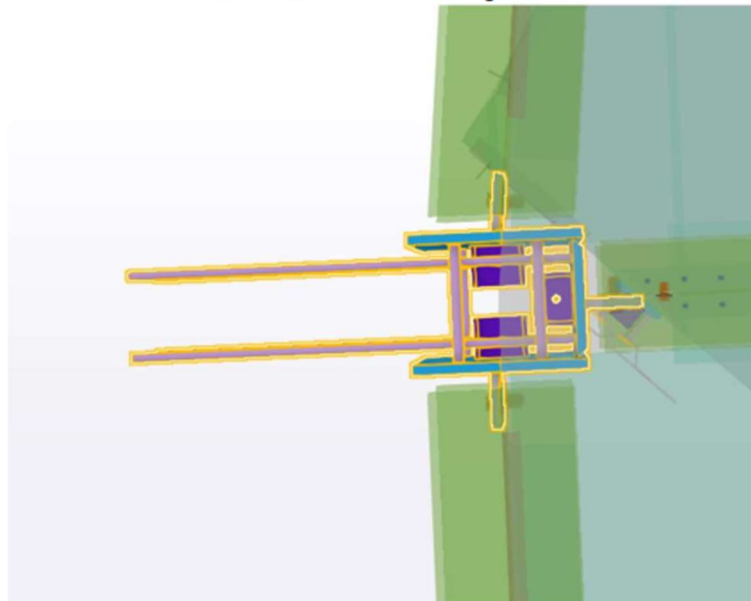


**Figura 54 - NCR 1, local (Fonte: Autor)**

O segundo caso foi muito parecido com o primeiro. Em um chumbador com 3 ligações metálicas, percebeu-se que duas das ligações estavam soldadas inversas, conforme a comparação das figuras 55 e 56.



**Figura 55 - Chumbador em obra (Fonte: Autor)**



**Figura 56 - Chumbador em projeto (Fonte: Software Tekla, 2023)**

Para a correção desses erros, primeiro retornou-se a viga e o chumbador ao solo em uma área cercada sem acesso de outras pessoas, cortou-se a chapa de ligação da viga e voltou-se a soldar no lado oposto. Por se tratar de um elemento estrutural, foi necessário a realização de um teste de soldadura por uma empresa qualificada.

O controle de qualidade durante a fase de montagem dos elementos foi realizado 15 dias após a conclusão do piso. No caso das vigas, comparou-se a altura da obra feita com a altura projetada, bem como a diferença de altura entre as duas extremidades, tendo assim a inclinação. Para os pilares, foi analisada a inclinação. Todas essas questões foram minuciosamente verificadas durante a montagem, mas é importante ressaltar que, devido a eventuais esforços adicionais e outros fatores (como imperfeições), podem ocorrer variações no pós-montagem.

No Anexo desse trabalho, apresenta-se um exemplo de controle de qualidade por completo, constituído de:

- (i) Uma planilha do Excel, contendo pelo menos 20% dos elementos controlados,
- (ii) Uma ficha de controle dos parafusos com fotos, e
- (iii) O plano com identificação da posição das cotas controladas. No caso onde se utilizou chapa colaborante, houve um controle da chapa junto com os outros elementos.

Para as vigas, foi utilizada a norma EN 1090-2 [16], que estipula que a inclinação máxima da viga ( $\Delta$ ) deve ser igual ao comprimento da viga dividido por 500, mas com um limite de 10 mm, conforme esquema da figura 57

3	<p>Inclinação:</p>	<p>Altura em relação à outra extremidade da viga</p>	$\Delta = \pm L / 500$ mas $ \Delta  \leq 10$ mm	$\Delta = \pm L / 1\,000$ mas $ \Delta  \leq 5$ mm
---	--------------------	------------------------------------------------------	--------------------------------------------------	----------------------------------------------------

Figura 57 - Inclinação Norma 1090-2 (Fonte: Norma 1090-2 [14])

Para a inclinação das vigas foi utilizado a base de um dos itens da norma que define o nível de vigas adjacentes, o qual limita o desvio em 10mm, conforme a figura 58.

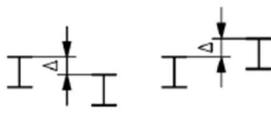
n.º	Critério	Parâmetro	Desvio permitido $\Delta$	
			Classe 1	Classe 2
6	Níveis relativos entre vigas: 	Níveis de vigas adjacentes, medidos nas extremidades correspondentes	$\Delta = \pm 10 \text{ mm}$	$\Delta = \pm 5 \text{ mm}$

Figura 58 - Nível norma 1090-2 (Fonte: Norma 1090-2 [14])

Com esses parâmetros, realizou-se a comparação dos resultados reais, os quais foram retirados “in loco” utilizando um laser rotativo e uma fita métrica. Se os valores obtidos “in loco” estivessem dentro dos limites aceitáveis, poderia seguir para a betonagem dos pilares e a flocagem, que é a proteção contra fogo realizada nos elementos metálicos, utilizando a vermiculite ou o gesso, das vigas.

O controle dos parafusos foi realizado mais por base visual. No término do aperto dos parafusos de uma viga, os montadores marcavam-nos com um X controlar os que já tinha sido apertado (ver figura 59).



Figura 59 - Parafusos com X (Fonte: Autor)

Para além disso, foi conferido o uso de porcas e anilhas. O parafuso deve apresentar um aperto extra ao final da porca de pelo menos 3 voltas, sendo aproximadamente em torno de 1 cm.

## 4. Conclusão

Esse trabalho marca oficialmente o final do estágio. Nele foi possível adquirir muito conhecimento no setor de estruturas metálicas, assim como sua importância para o bom andamento do projeto, sendo elas:

- A etapa inicial do projeto, que mesmo pouco abordada, é muito importante, pois é, escolhendo os menores perfis justificáveis para cada elemento, obtém-se uma maior economia de custos.
- A modelação das estruturas com base no projeto inicial de concepção, onde o preparador tem liberdade de escolher as melhores ligações possíveis para cada elemento. A experiência do preparador é muito importante para essa etapa visto que um preparador com experiência consegue dar soluções que podem ser realizadas em tanto na teoria como na prática.
- No planeamento envolvendo todas as etapas do projeto, nota-se a importância de ter um planeamento exato do projeto para organizar todos os elementos, evitando assim atrasos e dificuldades na hora da montagem. Um exemplo percebido em obra foi a questão da impressão dos projetos. No planeamento previa-se as impressões 2 semanas antes da intervenção na zona, possibilitando assim o estudo do trabalho pelo chefe de montagem.
- A reorçamentação é uma etapa fundamental para a economia do projeto. Muitos pensam que uma pequena economia em um elemento se pode não ser necessária, mas no fim de um projeto, ao somar todas as economias realizadas, é possível perceber que tais valores podem ser significativos.
- No planeamento dos transportes foi possível perceber a importância das reservas dos camiões, visto que em algumas semanas do projeto foram utilizados 5 camiões, uma quantidade considerável tendo em conta a distância que devem percorrer. Para além disso, aprendeu-se a importância de ter um bom relacionamento com a empresa contratada para o transporte, visto que o tempo de carga e descarga passa do tempo padrão estabelecido pela empresa, podendo assim acarretar em custos adicionais por hora.
- Na etapa da montagem foi possível aprender a importância de possuir uma equipa preparada e com conhecimento das etapas necessárias para a implantação dos elementos, visto que em uma obra de grande porte todos os minutos de guias que

cada empresa possui são controlados devido a alta procura. Uma equipa preparada consegue economizar o tempo necessário para as tarefas para avançar o andamento da obra consideravelmente.

- Outro grande aprendizado foi a atitude perante clientes e equipas que participam da obra. A prática do idioma francês, permitiu um avanço profissional, visto que muitas das palavras de ambiente de construção não são utilizadas tanto no dia a dia fora da área.
- Por fim, ao realizar o controle de qualidade, foi possível perceber os erros feitos pelas equipas, descobrir os motivos de tais erros para evitá-los em etapas futuras ou até em projetos futuros.

O estágio foi uma experiência muito gratificante no sentido profissional, e também, de vivência pessoal. Além disso, foi uma excelente prática de aprendizado de toda a gestão de uma obra na área da construção metálica, além de criar sensibilidade do ponto de vista prático sobre as indicações e informações vindas da teoria, projeto e modelação, que podem realmente serem aplicadas no ambiente de uma obra.

Outra aprendizagem muito importante durante o estágio foi a valorização da organização de um diretor de obra, pois se o mesmo não tiver controle de todos os elementos que englobam o projeto, atrasos virão e poderão acarretar em multas e má reputação no meio empresarial.

Além disso, o estágio proporcionou a oportunidade de colaborar numa empresa que já está a algum tempo no mercado e que visa crescer cada vez mais. Após o estágio, houve uma proposta de efetivação pelo grupo que propôs trabalho em outras obras na região de Paris.

Pode-se dizer que uma das competências mais importantes aprendida durante esse período foi da organização. É perceptível a diferença entre a percepção anterior e atual da importância de tal tarefa. Hoje os 30 primeiros minutos do trabalho são reservados para sintetizar e organizar todas as informações recebidas e coordenar os passos que devem ser realizados para as futuras tarefas.

Com esse projeto feito, conclui-se que os objetivos iniciais foram cumpridos.

## 5. Referências Bibliográficas

[1] TEKLA Structure (2023). <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>  
Consultado em setembro de 2023

[2] ACIETEC (2023). <https://www.acietec.com> Consultado em setembro de 2023

[3] Bouygues Construction (2023). <https://www.bouygues-construction.com>  
Consultado em Setembro de 2023

[4] ADDOR, M.; CASTANHO, M.; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J.; NARDELLI, E.; OLIVEIRA, A. Colocando o “i” no BIM. Revista eletrônica de arquitetura e urbanismo, edição nº 4, 2010.

[5] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2ª ed., 2011.

[6] Power Technology - <https://www.power-technology.com/features/top-10-power-companies-in-the-world/?cf-view> Consultado em março de 2024

[7] Visarqeng (2023). <https://visarqeng.com/> Consultado em setembro de 2023

[8] Grupo NovaGente (2023). <http://novagente.com.pt/> Consultado em setembro de 2023

[9] Abcem. Execução de estruturas de Aço práticas recomendadas, dezembro 2010, 1ª Edição.

[10] PINHO, Mauro Ottoboni (2020). Transporte e montagem, manual de construção em Aço – CBAC

[11] IAB e CBCA, Manual de construção em Aço, Ligações em estruturas metálicas, Rio de Janeiro 2020.

[12] Ficheiros internos da Faustino e Ferreira. <https://faustinoferreira.com/> Consultado em setembro de 2023

[13] Davison, Buick e W. Owens, Graham, 2003, “Steel Designer’s Manual”, Blackwell Publishing;

[14] *INETI- Instituto Nacional de engenharia e Tecnologia Industrial, Guia Técnico – Sector da Industria Marítima*”, Lisboa, Setembro, 2001

[15] ArcelorMittal (2023). <https://france.arcelormittal.com/> Consultado em setembro de 2023.

[16] EN 1090-2, 2020. Norma portuguesa, Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio. Parte 2: Requisitos técnicos para estruturas de aço.

# Anexo A

EUROPEAN STANDARD

EN 1090-2

NORME EUROPÉENNE

EUROPÄISCHE NORM

June 2018

---

ICS 91.080.13

Supersedes EN 1090-2:2008+A1:2011

English Version

## Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures

Exécution des structures en acier et des structures en  
aluminium - Partie 2: Exigences techniques pour les  
structures en acier

Ausführung von Stahltragwerken und  
Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für  
die Ausführung von Stahltragwerken

This European Standard was approved by CEN on 22 January 2018.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN-CENELEC Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, Former Yugoslav Republic of Macedonia, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey and United Kingdom.



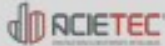
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

---

© 2018 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved  
worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 1090-2:2018 E

	<b>Fiche de Contrôle d'activité – LIAISONS BOULONNEES COURANTES</b>
	Campus Engie – A1 PHR+5

**NORMES ET REFERENCES DES BOULONS A UTILISER\* :**

Assemblage mécanique	Classe (8.8 ou 10.9)	DIN	EN 15048 (MARQUAGE)
Boulons	8.8	933/934	EN 15048
Ecrous	8	934	EN 15048
Rondelles	HV	125/125-A	EN 15048
Autres			

\*Rayer ce qui ne s'applique pas

**RECEPTION DU MATERIEL SUR CHANTIER**

Vérifier que le matériel réceptionné est conforme au bon de commande

Documents d'inspection demandés sur le bon de commande :

<del>Déclaration 2.1</del>	<del>Certificat 2.2</del>	<del>Certificat 3.1</del>	Déclaration de Performance
----------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------

\*Rayer ce qui ne s'applique pas

**PREPARATION DES SURFACES DE CONTACT**

Vérifier que les surfaces sont propres à 100%, sans huile, saletés ou autres contaminants

Vérifier que les surfaces sont exemptes à 100% de sédiment ou de rouille

**SERRAGE DES LIAISONS COURANTES**

Vérifier que l'ajustement des liaisons est conforme (jeu maximum de 4mm)

Vérifier que les liaisons sont serrées à 100% jusqu'à la condition « bien serrées »

*("Bien serré" est obtenu par l'effort d'un homme utilisant une clé de taille normale, sans bras extensibles, jusqu'à ce qu'il soit à entrer en contact avec la surface.")*

Vérifier le diamètre de boulon

**INSPECTION DES LIAISONS COURANTES**

Contrôler visuellement les liaisons serrées à 100%

Contrôler visuellement les rondelles

Contrôler visuellement les platines

Contrôler visuellement écrous

**NOTES**